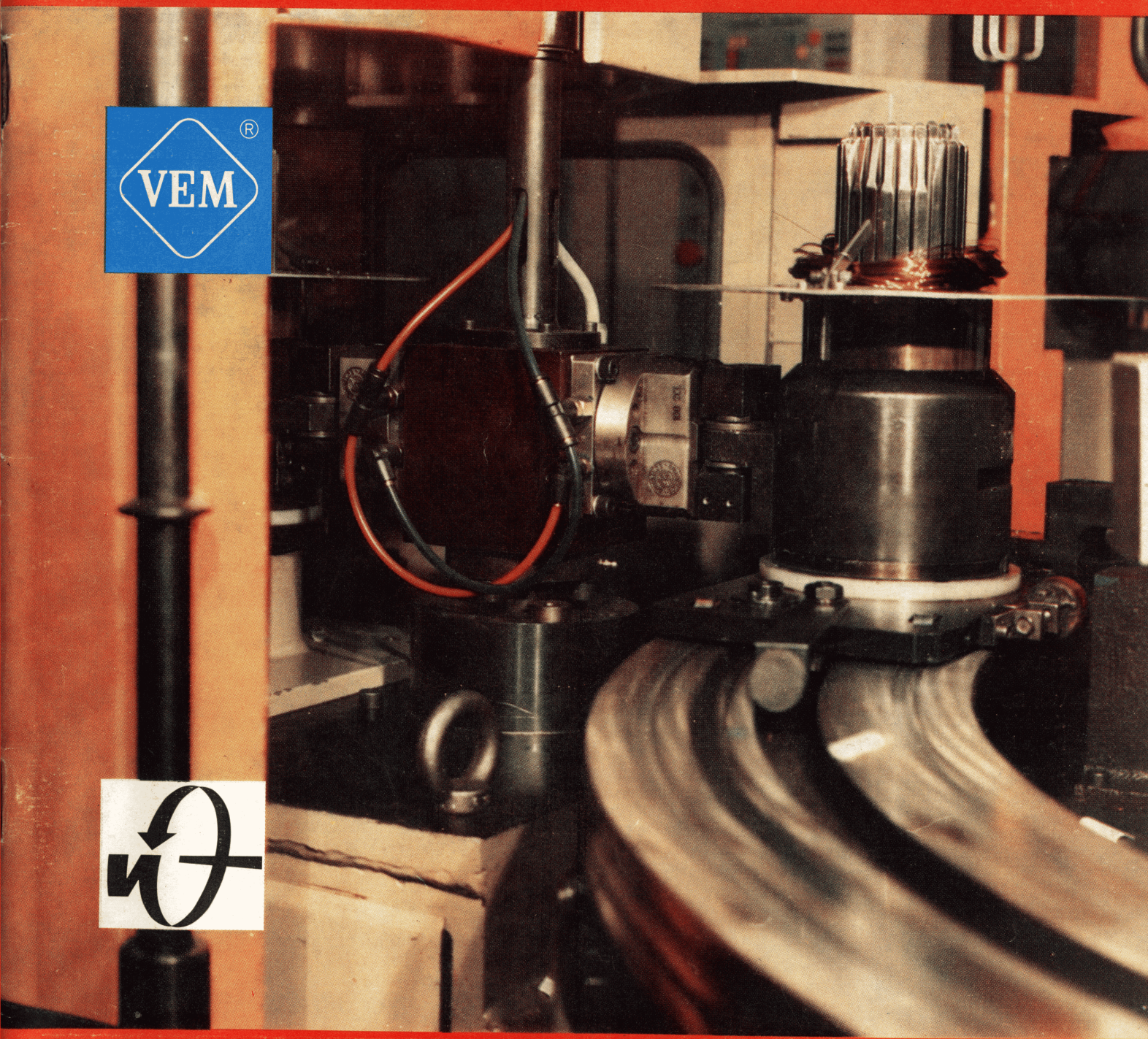
ELEKTRIE 12|88

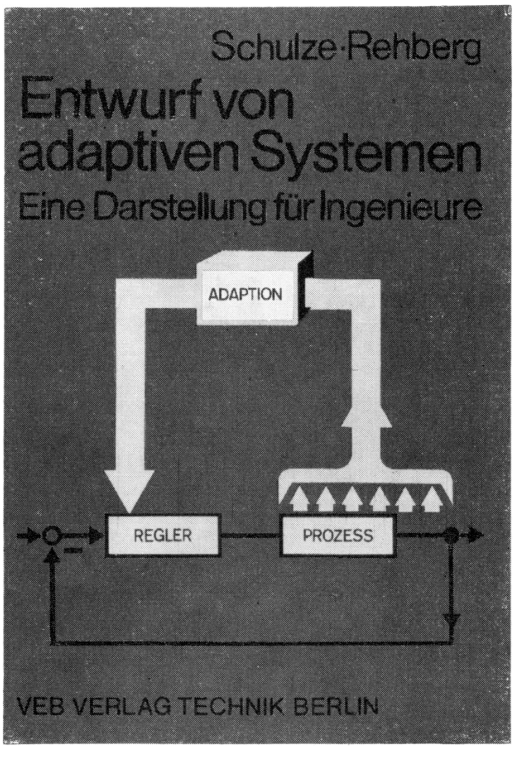
VEB VERLAG TECHNIK BERLIN · Postverlagsort für DDR Leipzig · EVP 2,50 Mark · ISSN 0013—5399

15 JAHRE INTERELEKTRO



Jahrzehnte gemeinsamer Entwicklung von Elektromaschinen in den RGW-Ländern

0120254



Entwurf von adaptiven Systemen

Eine Darstellung für Ingenieure

Von Doz. Dr. sc. techn. Klaus-Peter Schulze und Dr.-Ing. Klaus-Jürgen Rehberg. 244 Seiten, 201 Bilder, Leinen, DDR 33,— M, Ausland 42,— DM.
Bestellangaben: 5537629/Schulze, Entwurf

Aufgrund ihrer bemerkenswerten Eigenschaft, sich selbsttätig an unbekannte oder zeitveränderliche Betriebsbedingungen anzupassen, sind adaptive Systeme in nahezu allen Bereichen der Industrie sehr universell einsetzbar. Die Mikrorechentechnik gestattet auch erstmals die umfassende technische Realisierung. In der Monographie wird sehr anschaulich durch zahlreiche Bilder, Ablaufpläne und Beispiele eine geschlossene Darstellung der wichtigsten Entwurfsprinzipien gegeben.

Explosionsgeschützte elektrotechnische Betriebsmittel

Von einem Autorenkollektiv unter Leitung von Dr.-Ing. Hans-Jürgen Linström. 95 Seiten, 40 Bilder, 7 Tafeln, Broschur, DDR 10,— M, Ausland 16,— DM. Bestellangaben: 5538912/Linström, Betriebsmittel

Ausgehend von den Bedingungen für das Entstehen von Explosionen und den dabei auftretenden Erscheinungen werden die Möglichkeiten des Explosionsschutzes bei elektrotechnischen Betriebsmitteln gezeigt und den in bestimmten Industriebereichen vorhandenen Gefährdungsgraden gegenübergestellt. Darüber hinaus werden konkrete, auf die einzelnen Schutzarten bezogene Hinweise zur Wartung und Reparatur explosionsgeschützter elektrotechnischer Betriebsmittel gegeben.

Drehzahlvariable Drehstromantriebe mit Asynchronmotoren

Von Prof. Dr. sc. techn. Peter-Klaus Budig. 296 Seiten, 197 Bilder, 38 Tafeln, Leinen, DDR 40,— M, Ausland 46,— DM.
Bestellangaben: 5538883/Budig, Drehstromantriebe

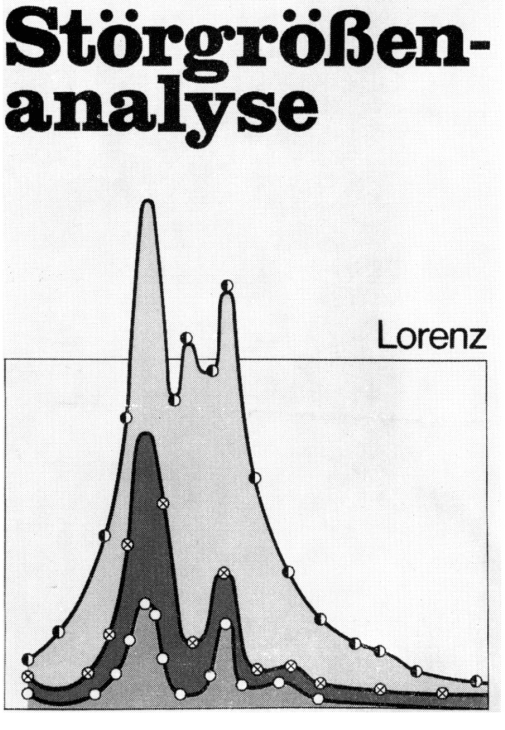
In einem Gesamtüberblick über das Gebiet der drehzahlverstellbaren Drehstromantriebe werden die Betriebsverhältnisse und die funktionellen Abhängigkeiten zwischen Stromrichter und elektrischer Maschine hergeleitet und daraus Schlußfolgerungen für die Konstruktion der Maschinen und die Gestaltung des Antriebs als System gezogen. Der Schwerpunkt liegt dabei, entsprechend ihrem sich verbreiternden Einsatz, auf Antrieben mit Asynchronmotoren.

Zur Zeit noch lieferbar:

Störgrößenanalyse

Von Doz. Dr. sc. techn. Gerald Lorenz. 152 Seiten, 61 Bilder, 11 Tafeln, Kunstleder, DDR 15,50 M, Ausland 22,— DM.
Bestellangaben: 5534727/Lorenz, Störgrößen

Das Buch gibt Orientierungen für die Aufgabenstellung der Störgrößenanalyse und der Methodik ihrer Durchführung sowie für Maßnahmen für die automatisierte Steuerung der Prozesse. Der umfangreiche Komplex zur Signalanalyse mit einer Reihe neuer bzw. erweiterter Verfahren geht weit über den Anwendungsbereich der Automatisierungstechnik hinaus.



Auslieferung durch den Fachbuchhandel

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

12|88 ELEKTRIE

42. Jahrgang | Wissenschaftlich-technische Zeitschrift der Elektrotechnik | ISSN 0013–5399

Organ des Fachverbands Elektrotechnik der Kammer der Technik

Die Zeitschrift erhielt die Goldene Ehrenplakette der KDT

Redaktionsbeirat

Vorsitzender:

Prof. Dr. sc. techn. J. Vogel

Mitglieder:

Prof. Dr. sc. techn. S. Altmann · Prof. Dr. sc. techn. H. Böhme · Prof. Dr. sc. techn. Dr. h. c. P.-K. Budig · Dr. sc. techn. G. Burkhard · Dr.-Ing. D. Flügge · Obering. K. Friedel · Prof. Dr. sc. techn. J. Hoffmann · Dipl.-Ing. H. Kabisch · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Lappe · Dr. rer. nat. K. Möbius · Prof. Dr. sc. techn. E. Muschick · Prof. Dr. sc. techn. V. Pfeiler · Prof. Dr.-Ing. e. h. K. Pommer · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Schönfeld · Obering. Dipl.-Ing. N. Wass · Prof. Dr.-Ing. habil. G. Wunsch

Korrespondenten:

Dr.-Ing. K. Hannella, Ilmenau · Dr.-Ing. W. Jordan, Dresden

Inhalt

Seite

Aktuelle Information

Meier, F.
15 Jahre Interelektro 442

Reiche, H.
Die Zukunft des elektrischen Antriebs 443

Fachaufsätze

Budig, P.-K.; Müller, G.
Entwicklungstendenzen der Antriebstechnik 446

Holst, L.; Schmutzer, K.
Logiksimulation von PS-2000-Programmen 453

Kunze, W.; Kuß, H.; Binner, A.
CAD-Baustein numerische Feldberechnung für elektrotechnische Erzeugnisse 455

Umschau

Cigre — 32. Session 461

SC 37: Planung und Entwicklung von Energiesystemen
SC 38: Analyse und Verfahren der Elektroenergiesysteme
SC 39: Betrieb und Regelung von Elektroenergiesystemen
Rundtischgespräch: Zuverlässigkeit von Elektroenergiesystemen
SC 22: Freileitungen
SC 12: Transformatoren
SC 13: Schaltgeräte
Diskussionsbeiträge im SC 38:
Time-scale-modelling zur effektiven Berechnung von Ausgleichsvorgängen
Berechnung von Ausgleichsvorgängen mit Personalcomputer

15 Jahre Interelektro 474

Bücher 477

Titelbild

Hochautomatisierte Herstellung von Hermetikmotoren im Stammbetrieb des VEB Elektromaschinenbau Dresden

Siehe hierzu die Beiträge auf den Seiten 446 und 474.

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

Träger des Ordens Banner der Arbeit

AKTUELLE INFORMATION

Elektrotechnik, Gerätetechnik und Marxismus-Leninismus

34. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium

Zeit: 23. bis 27. Oktober 1989
Ort: Technische Hochschule Ilmenau
Veranstalter: Technische Hochschule Ilmenau

Inhaltliche Schwerpunkte

- Elektroenergieanlagen und -systeme (A1)
  - — Betriebs- und Fehlervorgänge: Berechnung, Bewertung, Überwachung; Maßnahmen zur Begrenzung der Beanspruchung
  - — Elektroenergiequalität: Messung, Berechnung, Bewertung, Kontrolle; Maßnahmen zur Verbesserung
- Schaltgeräte und -anlagen (A2)
  - — Rechnergestützte Entwicklung von Schaltgeräten und gasisolierten Schaltanlagen
  - — Mathematische Modelle des Schaltlichtbogens
  - — Leistungsschalter im Netz, Überspannungen
  - — Schutzeinrichtungen für gasisolierte Schaltanlagen
  - — Sicherungen
  - — Technische Diagnostik an Schaltgeräten und gasisolierten Schaltanlagen
- Elektrische Antriebe und Leistungselektronik (A3)
  - — Steuer- und Schaltungsstrukturen
  - — Algorithmen zur Steuerung, zur Diagnose und zum Schutz und deren Umsetzung mittels Mikrorechner
  - — Rechnergestützte Verfahren des Entwurfs und der Auslegung
  - — Modellbildung und Simulation
  - — Eigenschaften neuer Leistungshalbleiter, Möglichkeiten und Randbedingungen ihres Einsatzes
  - — Relevante Anwendungsbeispiele, Betriebserfahrungen
  - — Entwicklungstendenzen
- Elektrowärme (A4)
  - — Mathematische Modelle in der Elektrowärme
  - — Automatische Steuerung elektrothermischer Prozesse
  - — Neue Verfahren und Anwendungsgebiete der Elektrowärme
  - — Hochdruck-Plasmatechnik, Geräte und Verfahren
- Elektrische Maschinen (A5)
  - — Berechnung und Auslegung elektrischer Maschinen
  - — Technische Diagnose und Prüftechnik elektrischer Maschinen
  - — Material- und Energieökonomie bei elektrischen Maschinen
- Elektrische Isolier- und Hochspannungstechnik (A6)
  - — Isolierungsdiagnostik
  - — Neue Isolierstoffe und Isolierverfahren
- Entwicklung und Konstruktion von Präzisionsgeräten (B1)
  - — Grundlagen und Tendenzen der Entwicklung im Gerätebau
  - — Aufbau und Wirkungsweise automatisierter Präzisionsgeräte
  - — Entwurf, Berechnung und Ausführung von Bauelementen und Funktionsgruppen feinmechanisch-optischer und elektronischer Geräte
  - — Konstruktionstechnik und CAD in der Gerätetechnik
  - — Genauigkeit, Justierung, Zuverlässigkeit und Gütesicherung
- Präzisionsmechanik und Robotertechnik (B2)
  - — Prinzipien, Aufbau und Steuerung von Präzisionsantrieben, integrierte Mehrkoordinatenantriebe
  - — Dynamik und Schwingungen, Modellierung und Computer-Simulation von Bewegungssystemen
  - — Roboter und Robotersysteme, modulare Strukturen
  - — Sensorik für Bewegungssysteme, Anwendungen der Mikromechanik
  - — Wirkpaarungen von Handhabungseinrichtungen und -objekten, Greiftechnik im Gerätebau
- Optik und Optoelektronik (B3)
  - — Rechnergestützte Entwicklung und Bewertung optischer Systeme
  - — Optische Probleme der Mikrostrukturierung
  - — Optik im Bereich der optischen Strahlung außerhalb des sichtbaren Gebietes
  - — Anwendung der Optoelektronik in Geräten
- Automatisierte Fertigung von Präzisionsgeräten (B4)
  - — Entwicklungstendenzen der flexiblen automatisierten Fertigung
  - — Vorbereitung flexibler automatisierter Montagen/CAP
  - — Rechnergestützte Produktionssteuerung/CAM
  - — Qualität und Zuverlässigkeit in der automatisierten flexiblen Fertigung/CAQ
  - — Flexible automatisierte Fertigung bei der Montage feinmechanischer und optischer Bauelemente
  - — Anwendung des Diffusionsschweißens im Präzisionsgerätebau
  - — Automatisierung von Lasertechnologien
- Glas/Keramik-Technik (B5)
  - — Meß-, Prüf- und Sensortechnik in der Glas/Keramik-Industrie
  - — Automatisierte Verfahren und Anlagen zur Herstellung und Verarbeitung
  - — Elektrotechnologische Verfahren
  - — Glas/Keramik-Werkstoffe für die Elektrotechnik/Elektronik
- Neuerungsprozeß, Wachstum und Effektivität (C1)
  - — Innovative Arbeit und ihre ökonomischen Wirkungen im gesellschaftlichen Reproduktionsprozeß
  - — Erneuerungsaufwand, Struktur, Dynamik und Effektivität
  - — Erneuerungsprozeß, Wirtschaftswachstum und Produktionsverbrauchsentwicklung
  - — Einflußfaktoren und Bedingungen einer hohen Wirksamkeit des Einsatzes wissenschaftlich-technischer Neuerungen
  - — Leitung, Planung und ökonomische Stimulierung von Neuerungsprozessen
- Soziale Tätigkeit und Weltanschauung der naturwissenschaftlich-technischen Intelligenz (C2)
  - — Der Zusammenhang von Sozialstruktur der sozialistischen Gesellschaft und sozialer Tätigkeit der naturwissenschaftlich-technischen Intelligenz
  - — Soziale und ideologische Bedingungen für eine hohe Effektivität der beruflichen Tätigkeit
  - — Die historische Herausbildung und wachsende gesellschaftliche Rolle der naturwissenschaftlich-technischen Intelligenz als einer Gruppe der Intelligenz im Lichte aktueller Auseinandersetzung
  - — Informationstechnologien und Effektivität der Arbeit der naturwissenschaftlich-technischen Intelligenz
- Die geistige Kultur der wissenschaftlich-technischen Intelligenz in unserer Epoche (C3)
  - — Felder der geistigen Kultur der wissenschaftlich-technischen Intelligenz
  - — Kultur und Schöpfertum der wissenschaftlich-technischen Intelligenz
  - — Ästhetische Elemente in der Tätigkeit der Wissenschaftler und Ingenieure
- Erbe, Tradition, Auftrag — Geschichte der Technikwissenschaften und der Ingenieurausbildung (C4)
  - — Technikwissenschaften zwischen industrieller und wissenschaftlich-technischer Revolution
  - — Geschichte technischer Bildung zwischen Polytechnikum und Technischer Universität
  - — Rolle von Ingenieurorganisationen und technischen Gremien
  - — Ingenieure im Produktionsprozeß

Anfragen

Technische Hochschule Ilmenau
34. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium
Vorbereitungskomitee
PSF 327
Ilmenau
6300

B. Friedrich, Ilmenau EA 2900

15 Jahre Interelektro

Im Dezember 1988 begeht die internationale Organisation für wirtschaftliche und wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit auf dem Gebiet der elektrotechnischen Industrie „Interelektro" den 15. Jahrestag ihrer Gründung. In diesen eineinhalb Jahrzehnten hat sich die „Interelektro" zu einem wirksamen Instrument effektiver Arbeitsteilung über Ländergrenzen hinweg entwickelt. Hoch zu schätzen ist vor allem der Beitrag zur Deckung des Bedarfs der Mitgliedsländer des Rates für Gegenseitige Wirtschaftshilfe, der Sozialistischen Föderativen Republik Jugoslawien und der Republik Kuba an elektrotechnischen Erzeugnissen, Geräten und Ausrüstungen. Das gelang besonders durch die zweigbezogene Koordinierung der Tätigkeit von Kombinaten, Produktionsvereinigungen und Außenhandelsbetrieben. Von ausschlaggebender Bedeutung für die hohe Effektivität und den gegenseitigen Nutzen durch die Arbeit der „Interelektro" ist die Orientierung der Zusammenarbeit auf die Meisterung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts in seiner Einheit von Wissenschaft, Technik, Produktion und Absatz. Das gleiche gilt für die koordinierende Auslastung der Kapazitäten unter dem Aspekt der Befriedigung des wachsenden Bedarfs an Erzeugnissen der Elektrotechnik bei der ökonomischen Entwicklung der Volkswirtschaften. Ausdruck dessen ist die erfolgreiche Entwicklung unifizierter Reihen von Motoren und Schaltgeräten, von Leistungsbauelementen, aber auch die Lösung gemeinsamer Aufgaben mit dem Blick auf das Jahr 2000. Das ist die Grundlage für die Zielstellung, den Warenumsatz im Fünfjahrplan 1986 bis 1990 um 20% zu erhöhen, wobei 35% der gegenseitig zu liefernden Erzeugnisse Ergebnisse der wissenschaftlich-technischen Zusammenarbeit innerhalb der „Interelektro" sind, ihre Bedeutung für eine effektive, nach sozialistischen Wirtschaftsprinzipien gestaltete internationale Arbeitsteilung untermauernd. Die in einem langen Zeitraum kontinuierlicher Tätigkeit gesammelten Erfahrungen finden auch darin ihren Ausdruck, daß die gemeinsam erarbeiteten Aufgabenstellungen vom wissenschaftlich-technischen Höchststand ausgehend dem Leistungsvermögen der beteiligten Länder optimal Rechnung tragen. Die größte Bedeutung in der Arbeit der „Interelektro" kommt den aus dem „Komplexprogramm des wissenschaftlich-technischen Fortschritts der RGW-Länder bis zum Jahr 2000" abgeleiteten Aufgaben zur komplexen Automatisierung und Elektronisierung zu, wo für 15 Themen Programme erarbeitet wurden, die u.a. die Produktion von Lichtwellenleiterkabeln, die Schaffung von flexiblen Fertigungsmodulen für das Lichtbogenschweißen, die Montage von Niederspannungsgeräten, die Plasmabearbeitung sowie die Herstellung von Reihen vereinheitlichter komplettierender Erzeugnisse, wie Synchronmotoren für regelbare Elektroantriebe, Schalter, Schütze und Halbleiter-Leistungsbauelemente mit verbessertem Masse-Leistungs-Verhältnis enthalten. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Standardisierungsarbeit. Sie wird im gegenwärtigen Fünfjahrplanzeitraum mehr als 90% der in den Verträgen über Spezialisierung und Kooperation enthaltenen Erzeugnissen einbeziehen.

So kann der „Interelektro" bescheinigt werden, in ihrer 15jährigen Tätigkeit hervorragendes und für alle Mitglieder nutzbringendes geleistet zu haben. Die beteiligten Kombinate des Industriebereiches Elektrotechnik und Elektronik trugen mit vielfältigen Aktivitäten zur erfolgreichen Arbeit bei. Ihren Generaldirektoren sowie allen Leitern und Mitarbeitern, die mit Engagement und Weitblick mitwirkten, gebührt Verdienst und Anerkennung.

EA 2911

Von

Felix Meier

Minister für Elektrotechnik
und Elektronik

Die Zukunft des elektrischen Antriebs

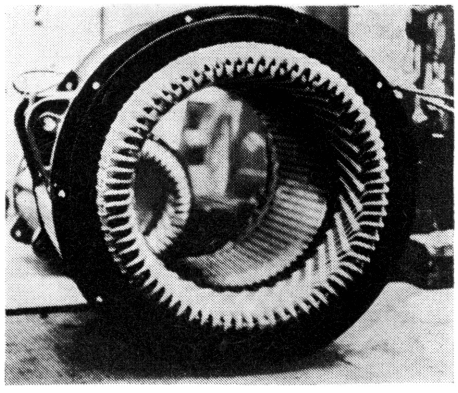


Bild 1. Schalt- und blitzspannungsfeste Ständer einer Hochspannungsmaschine — Isolierungssystem Monolith-2

Vom 7. bis zum 9. Juni 1988 fand in Dresden die internationale Tagung „Ein Jahrhundert industrieller Elektromaschinenbau — 40 Jahre volkseigener Elektromaschinenbau" mit insgesamt 90 wissenschaftlichen Beiträgen und 45 Posterpräsentationen statt. Unter den 500 Teilnehmern waren 150 Ausländer aus 18 Staaten und Berlin (West). Sowohl international bedeutende Universitäten und Hochschulen als auch prominente Hersteller elektrischer Antriebstechnik waren durch ihre Wissenschaftler vertreten.
Das Tagungsmaterial enthält alle Vortragsmanuskripte.
Parallel zu dieser Tagung wurden im Dresdner Ausstellungszentrum am Fučikplatz auf 1700 m² über 300 seltene historische Objekte und heutige Spitzenleistungen des Elektromaschinenbaus in einer Form gezeigt, die die 100jährige Entwicklung des Elektromaschinenbaus und der auf ihr aufbauenden Entwicklung der Produktivkräfte überzeugend vermittelt. 36000 Besucher, unter ihnen der Minister für Kultur der DDR, nahmen diese international einmalige Gelegenheit wahr.

Ziele und Absichten der internationalen wissenschaftlichen Tagung

Nach Abschluß der internationalen wissenschaftlichen Tagung „Ein Jahrhundert industrieller Elektromaschinenbau — 40 Jahre volkseigener Elektromaschinenbau" kann eingeschätzt werden, ob die Erwartungen an die Ergebnisse der Konferenz erfüllt wurden und welche Schlußfolgerungen gezogen werden können.
Die der elektrischen Maschine gewidmete Konferenz vereinte ein international außerordentlich repräsentatives Gremium von Elektromaschinenbauern, von Wissenschaftlern, Ökonomen, Konstrukteuren und Technologen. Sie kamen mit Vertretern der Anwenderbereiche in der DDR zusammen. Dieser große Kreis der am Elektromaschinenbau interessierten Menschen erwartete eine in der heutigen Periode der Durchsetzung der Schlüsseltechnologien notwendig gewordene Standortbestimmung des Elektromaschinenbaus, um daraus die Motive für die weitere Arbeit auf dem Gebiet des Elektromaschinenbaus und für die Entwicklung der elektrischen Antriebstechnik abzuleiten. Die Konferenz gab für eine solche Manifestation des Elektromaschinenbaus eine einmalige Gelegenheit, weil sie, über die üblichen wissenschaftlich-technischen Konferenzen hinausgehend, alle Komponenten dieser an der industriellen Revolution beteiligten Disziplinen berücksichtigte und damit zu einer aktuellen gesellschaftlichen Würdigung genutzt werden konnte.
Für die Techniker und Wissenschaftler, für Hersteller und Anwender der elektrischen Maschine, findet eine solche gesellschaftliche Standortbestimmung ihren Ausdruck in Thesen für die Weiterentwicklung und die Zukunft des elektrischen Antriebs. Die überwiegende Zahl der Vorträge, speziell in den Tagungskomplexen

— Entwicklungsrichtungen der klassischen Erzeugnisse des Elektromaschinenbaus
— Moderne Entwicklungsrichtungen des Elektromaschinenbaus
— Die moderne Fertigung elektrischer Maschinen
— Die elektrische Maschine unter dem Einfluß neuer Werkstoffe
— Die Antriebstechnik in wichtigen Einsatzbereichen
— Perspektiven der Antriebstechnik unter dem Einfluß der Schlüsseltechnologien

gaben Anlaß, in der Themengruppenarbeit unter Nutzung der von den Vorsitzenden geleiteten Diskussionen solche Thesen zu künftigen Entwicklungstrends auf allen Teilgebieten zu bestätigen oder neu zu formulieren.
Der Schwerpunkt dieser Arbeit lag entsprechend der Hauptaufgabe des Mitveranstalters, des VEB Kombinat Elektromaschinenbau, auf dem Gebiet der rotierenden elektrischen Maschine, ohne jedoch die heute meistdiskutierten Probleme der Nutzung der Mikroelektronik und der Leistungselektronik für die elektrische Antriebstechnik außer acht zu lassen.
Für den VEB Kombinat Elektromaschinenbau stellt sich nach Auswertung der Konferenzergebnisse die weitere technische Entwicklung der elektrischen Antriebstechnik in Forschungs- und Entwicklungsrichtungen dar, die zugleich wegweisend für eine effektive Applikations- und Marktarbeit zum Nutzen der Anwender sind und natürlich auch die Ökonomie des Gesamtprozesses sichern müssen.

Entwicklungsrichtungen des Elektromaschinenbaus

Die wichtigsten Wirkprinzipien der elektrischen Maschine haben sich im letzten Jahrhundert im wesentlichen erhalten. Dominierend ist und bleibt der Asynchronmotor mit Käfigläufer. Der Synchronmotor erhält als Stromrichtermotor und vielleicht später bei der Nutzung der Supraleitfähigkeit zur Magnetfelderzeugung eine zunehmende Bedeutung. Die Gleichstrommaschine wird noch über Jahrzehnte ihre Existenzberechtigung haben. Neue Wirkprinzipien sind nicht zu erwarten.
Die theoretische Durchdringung der elektrischen Maschine ist weit fortgeschritten. Die Entwicklungsreserven durch verbesserte Werkstoffe wurden stets umgehend und gewissenhaft erschlossen. Die größten Entwicklungsreserven bestehen in der zunehmenden Nutzung automatisierter Fertigungseinrichtungen zur ständigen Reduzierung des Arbeitsaufwands.
Das ist aus heutiger Sicht die Ausgangsposition.
Die Forschungen und Entwicklungen für

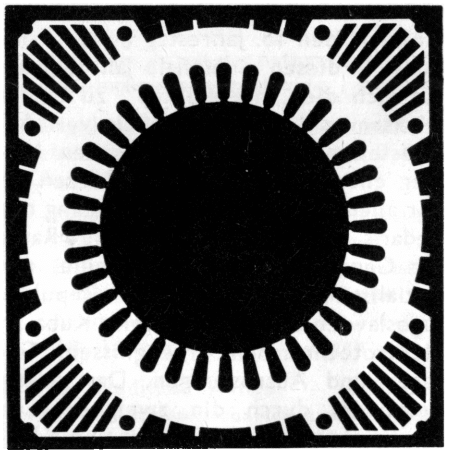


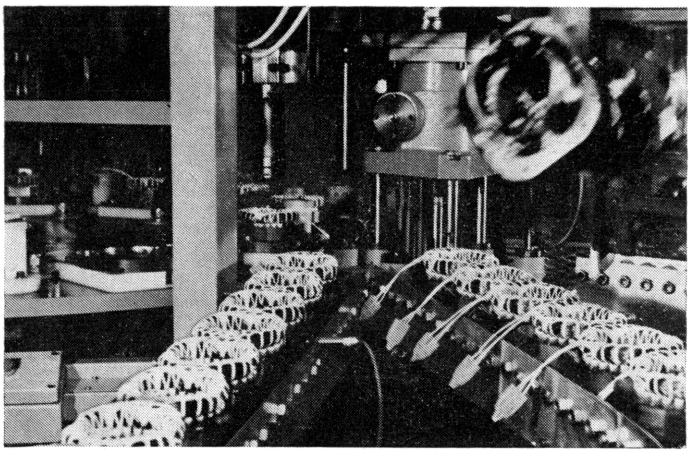
Bild 2. Blechschnitt für eine gehäuselose Niederspannungs-Asynchronmaschine in Schutzart IP 44

die elektrische Maschine, sowohl als wichtige Komponente eines elektrischen Antriebs als auch als Generator, konzentrieren sich heute auf folgende Richtungen [1]:

• Die elektrische Maschine als Energiewandler

Entwicklungsprinzip ist die kontinuierliche Nutzung der sich anbietenden Werkstofffortschritte. Sie sind zu erwarten bei

— den Dynamobändern in Form der Anreicherung von solchen Texturkomponenten, die die Eigenschaften der Magnetkörper verbessern
— den Isolierstoffen in Richtung höherer Wärmebeständigkeit, die im Rahmen einer neu durchdachten Antriebsprojektierung maximal zu nutzen ist, und in Richtung blitzspannungsfester Hochspannungswicklungen mit Lebensdauergarantie (Bild 1)
— den hartmagnetischen Werkstoffen durch Nutzung solch progressiver Materialien wie Neodym-Eisen-Bor-Magnete aus heutiger Sicht
— den Leiterwerkstoffen durch Verbesserung der Qualität der Läuferkäfige durch optimierte Gießverfahren und durch Einsatz von Supraleitern, die in ferner Zukunft die gleiche Rolle übernehmen können wie die heutigen hartmagnetischen Werkstoffe bei der effektiven Erzeugung starker Magnetfelder bei Raumtemperatur.



Die kontinuierliche und umgehende Anpassung des erreichten Entwicklungsstands an die Anwenderbedürfnisse in Form einer volkswirtschaftlichen Optimierung der Auslegung der Maschinen wird den Erneuerungsprozeß charakterisieren. Ein solches Optimum als Lösung des Widerspruchs zwischen Material- und Energieökonomie macht einen sogenannten Energiesparmotor überflüssig.

Die Kühlsysteme stellen einen besonderen Entwicklungsschwerpunkt dar: Die Bedeutung drehzahlvariabler Drehstromantriebe mit speziellen, meist gehäuselosen Motorenkonstruktionen nimmt zu, die Geräuschemission ist herabzusetzen. Erste Forschungsergebnisse für einen materialökonomisch günstigen gehäuselosen Standardmotor setzten Akzente [2] für die Durchsetzung einer allgemeinen Tendenz auch bei kleinen Leistungen (Bild 2).

- Die elektrische Maschine als Verfahrensobjekt

Die bestätigten Entwicklungsrichtungen der Technologie des Elektromaschinenbaus gehen zur

— Erhöhung des Automatisierungs- und Verkettungsgrads, geführt von den Herstellern maximaler Stückzahlen und zur

— Flexibilität zur Befriedigung der zunehmenden Modifikationswünsche des Marktes.

Wichtige Verbindungen zur Konstruktion der elektrischen Maschine bestehen einerseits in der Forderung zur automatisierten Montage, die zum Begriff des Design for Assembly geführt hat, und in der Einheit von CAD und Flexibilität der Fertigung. Mit dem zunehmenden Druck, der von progressiven Funktionsprinzipien in der Verfahrenstechnik ausgeht, werden eine große Zahl entwicklungstechnischer Probleme beim Erzeugnis aufgeworfen werden, die um so größer sind, je besser dieses Erzeugnis material- und energieökonomisch bereits ausgelegt ist, was ja auf dem hohen Entwicklungsstand der VEM-Erzeugnisse der Fall ist. Die gemeinsamen Bestrebungen der Konstrukteure und Technologen müssen dahin gehen, bei der Suche nach dem Optimum, charakterisiert durch arbeitszeit- und material- sowie energieökonomische Maximalwerte, den niedrigen Material- und Energieeinsatz so wenig wie möglich anzutasten.

Eine Hauptrichtung der technologischen Forschung (Bild 3) betrifft die Wicklungsherstellung mit ihren Nachfolgeprozessen. Gerade hier sind noch keine bedeutenden konstruktiven Zugeständnisse zu erwarten. Dagegen sind die Erwartungen an die Erhöhung der Qualität von druckgegossenen Läuferwicklungen der Asynchronmotoren hoch.

Bild 3. Hochproduktive Ständerfließlinie für Hermetikmotoren

Bild 4. Projektierung des Einsatzes von Antriebskomponenten mit Personalcomputer

- Der Elektromotor im Antriebssystem

Die Ansprüche an die Qualität der Projektierung eines elektrischen Antriebs und damit des Einsatzes von Antriebskomponenten wie Elektromotor und Stromrichter steigen auf allen Gebieten der Anwendung. Die heute noch festzustellenden materialökonomischen Reserven und energieökonomischen Verluste im Antrieb werden in Zukunft nicht mehr geduldet. Dazu kommen heutzutage höhere Anforderungen an die Kenntnisse zur Auslegung des Antriebs durch die Kombination von Motor und Stromrichter, was wiederum die Regelungs- und Gebertechnik einschließt.

Entwicklungsrichtungen der Zukunft sind folgerichtig

— die Einführung der rechnergestützten Arbeitsweise bei der Projektierung von Antrieben unter Anwendung neuer theoretischer und methodischer Erkenntnisse über Motoren und Stromrichter

— die Erhöhung der Zahl der zu garantierenden Eigenschaften des Elektromotors hinsichtlich seines thermisch-dynamischen Verhaltens und seiner Reaktion auf Oberwellen durch die Stromrichterspeisung

— die Einführung der Nutzung von Expertensystemen zur optimalen Antriebslösung, die auch Kosten-Alternativen zuläßt

— die Entwicklung von Know-how über die gesamte Arbeitsmaschine des Anwenders seitens des Motoren- bzw. Antriebsherstellers.

Diese Entwicklungsrichtungen wurden durch Einführung der VEM-prodrive-Software (Bild 4) bereits mit Erfolg eingeschlagen. Die Motorschutztechnik wird von der Präzisierung der Motoreneigenschaften profitieren.

Die Prinzipien der Optimierung der Antriebstechnik werden auch Einfluß auf die konstruktive Gestaltung der Komponenten nehmen. Zumindest ist die Erhöhung der Modifikationsbreite zu erwarten, der durch eine module Bauweise zu begegnen ist. Den Mindestanforderungen wird durch Anbaumöglichkeiten bei Standarderzeugnissen Genüge getan.

Die Einführung neuer Wirkprinzipien beim Energiewandler ist grundsätzlich nicht auszuschließen. Dabei ist aber in Einzwecklösungen und universell nutzbare Lösungen zu unterscheiden. Aus den Erfahrungen des Elektromaschinenbaus mit der Einführung von Linearmotoren-Ständern ist zu schließen, daß sich neue Wirkprinzipien in Form von Standarderzeugnissen für die allgemeine Anwendung außerordentlich schwer in der Breite durchsetzen lassen.

- Der zuverlässige Elektromotor

Mit der allgemeinen Erhöhung des Automatisierungsgrads in der Industrie werden hinsichtlich der Zuverlässigkeit der Antriebsmotoren steigende Anforderungen gestellt. Das soll aber nicht nur durch Herabsetzung der spezifischen Belastungen der Werkstoffe, also durch den Einsatz von mehr Material geschehen. Neben der Qualitätsverbesserung der Einsatzmaterialien, die auch seitens hochproduktiver Fertigungsverfahren für die Elektromotoren verlangt wird, sind die Möglichkeiten zur Zustandsüberwachung der Motoren als Bestandteil eines Antriebssystems zu schaffen. Zu diesem Zweck sind die elektrischen Maschinen mit „intelligenten" Sensoren auszurüsten, die u.a. Auskunft über den Zustand von Lagern und Wicklungen geben und möglichst aus einer Alterbestimmung dieser Bauelemente Aussagen über die weitere Verfügbarkeit des Motors oder über einen wahrscheinlichen Ausfall machen können. Eine solche Überwachungstechnik ermöglicht schließlich eine höhere Belastung der Maschine, weil sie das Risiko eines unerwarteten Ausfalls wirkungsvoll herabsetzt.

Grundlagen für die Erhöhung der Zuverlässigkeit der elektrischen Maschine sind weiterführende Forschungsarbeiten über die Alterung der eingesetzten Werkstoffe und Zulieferteile.

Fortsetzung auf Seite 473

Entwicklungstendenzen der Antriebstechnik

P.-K. Budig, KDT, Karl-Marx-Stadt; G. Müller, KDT, Dresden

Die folgenden Betrachtungen sind eine ausführliche Fassung der Überlegungen, die von den Verfassern anläßlich der Tagung „Ein Jahrhundert industrieller Elektromaschinenbau — 40 Jahre volkseigener Elektromaschinenbau" im Juni 1988 in Dresden vorgetragen wurden. Dabei war versucht worden, den erreichten Stand auf wesentliche Einflußgrößen zu reduzieren und davon ausgehend Extrapolationen vorzunehmen. Dieser Versuch sollte als Herausforderung von Meinungen verstanden werden und auch Widerspruch auslösen. Die große Resonanz, mit der die Ausführungen auf der Tagung aufgenommen wurden, ermutigt die Verfasser, ihre Gedanken mit diesem Aufsatz einem breiteren Leserkreis vorzulegen.

1. Antriebsaufgaben aus der Sicht der Entwicklung der Produktivkräfte

Die Aufgabe der Antriebstechnik besteht darin, mechanische Energie mit bestimmten Parametern hinsichtlich Drehmoment und Drehzahl in einer bestimmten Dosierung aus elektrischer Energie mit ihrerseits bestimmten Parametern hinsichtlich Spannung und Frequenz bereitzustellen. In der Tafel 1 sind typische Antriebe für eine repräsentative Anzahl volkswirtschaftlicher Bereiche, von der Energiewirtschaft bis zu den Haushalten reichend, aufgeführt. Die Zusammenstellung läßt erkennen, daß Pumpen für den Transport meist flüssiger Medien sowie Kompressoren und Gebläse für die Handhabung gasförmiger Medien die am häufigsten auftretenden Antriebe sind. Eine weitere Antriebsgruppe dient dem Transport von Menschen, von industriellen und landwirtschaftlichen Produkten sowie anderen Gütern. Transportaufgaben bestehen weiterhin für Materialien, Bauteile und Baugruppen diskontinuierlicher Fertigungsprozesse sowie die Vorprodukte bei kontinuierlich arbeitenden Fertigungsprozessen. Sie spielen natürlich auch in der Landwirtschaft eine große Rolle. Schließlich finden sich Transportaufgaben im weitesten Sinne auch in den peripheren Geräten der Datenverarbeitung. Es verbleibt die Gruppe jener Antriebe, über die in den verschiedenen Be- und Verarbeitungsmaschinen Prozeßenergie zugeführt wird. Die mechanische Energie, die der Antrieb zur Verfügung stellt, dient hier oft nur als energetische Zwischenstufe, weil das eingesetzte Wirkprinzip die Energie von dieser Zwischenstufe ausgehend in den Prozeß zu bringen ermöglicht. Dabei sind diese Wirkprinzipien oft mit Verschleißerscheinungen verbunden. Man denke z.B. an die Abnutzung von Werkzeugen. Aus diesem Grund löst der allgemeine Trend nach Erhöhung der Zuverlässigkeit Bemühungen dahingehend aus, derartige verschleißintensive Prozesse durch alternative Verfahren zu ersetzen. Als Beispiel sei der Einsatz von Laser-Trennverfahren oder die Entwicklung nichtmechanischer Druckverfahren genannt. Diese Tendenz führt natürlich auch zum Wegfall von Antriebsaufgaben in der Gruppe der Be- und Verarbeitungsmaschinen. Die vorstehenden Überlegungen lassen jedoch erwarten, daß der Teil der dort insgesamt installierten Antriebsleistung relativ klein ist. Das belegt als Beispiel eine Analyse nach *Radin* für die Industrie der UdSSR, die Tafel 2 zeigt. Dort wird dieser Teil mit 22% ausgewiesen, während für Kompressoren, Lüfter und Pumpen fast 50% eingesetzt werden.

Aus den angestellten Betrachtungen leiten sich folgende Aussagen über die zukünftige Entwicklung ab:

Der Bedarf an Antriebstechnik wird sich in Anlehnung an das jeweilige gesamtwirtschaftliche Wachstum entwickeln, da die Aufgaben für die Handhabung von Medien sowie für den Transport im weitesten Sinne auch bei der Weiterentwicklung der Produktivkräfte überwiegen werden, so daß auch eine zunehmende Vermeidung verschleißintensiver technologischer Prozesse auf diesen Wachstumsprozeß keinen merklichen Einfluß ausüben wird.

Prof. Dr. sc. techn. Dr. h. c. *Peter-Klaus Budig* ist Dekan an der Technischen Universität Karl-Marx-Stadt. Prof. Dr.-Ing. habil. *Germar Müller* ist ordentlicher Professor an der Technischen Universität Dresden, Sektion Elektrotechnik.

Tafel 1. Typische Antriebe in repräsentativen volkswirtschaftlichen Bereichen

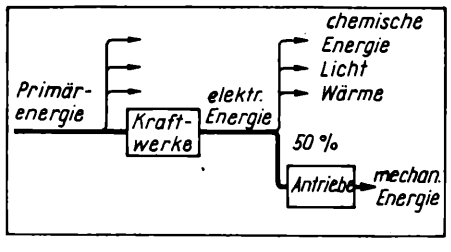
Volkswirtschaftlicher Bereich	Typische Antriebe
Energiewirtschaft	Pumpen, Gebläse, Fördereinrichtungen
Bergbau	Förderanlagen, Schienenfahrzeuge, Pumpen, Gebläse
Metallurgie	Walzstraßen, Gebläse, Fördereinrichtungen
Chemische Industrie	Kompressoren, Pumpen, Mischanlagen
	Fördereinrichtungen, Gebläse
Baumaterialindustrie	Drehrohröfen, Brechwerke, Fördereinrichtung
Schwermaschinenbau	Werkzeugmaschinen, Industrieroboter, Förder- und Verkettungseinrichtungen
Werkzeugmaschinenbau Allgem. Maschinenbau	Werkzeugmaschinen, Industrieroboter, Förder- und Verkettungseinrichtungen
Leichtindustrie	Textilmaschinen, Polygraphische Maschinen Papiermaschinen, Fördereinrichtungen
Lebensmittelindustrie	Pumpen, Gebläse, Fördereinrichtungen
	Rührwerke
Landwirtschaft	Gebläse, Pumpen, Mischanlagen,
	Fördereinrichtungen, Erntemaschinen
Datenverarbeitung Schreib- u. Bürotechnik	Plotter, Drucker, Speicher
Haushalt und Freizeit	Pumpen, Kälteaggregate, Gebläse, Haus- und Küchengeräte, Ton- und Videogeräte, Geräte der Heimwerktechnik, Fahrzeuge, Spielzeug

Kompressoren und Gebläse
Förder- und Transporteinrichtung
Pumpen

Tafel 2
Verteilung der in Antrieben umgesetzten Energie auf typische Anwendungen in der Industrie der UdSSR nach *Radin* [8]

Antrieb	Anteil der Antriebsleistung
Kompressoren, Lüfter	43 %
Pumpen	23,5 %
Werkzeugmaschinen	12,2 %
Textilmaschinen	10,7 %
Förder- und Transporteinrichtungen	3,6 %

Bild 1
Energiefluß in der Volkswirtschaft



Das Transportbedürfnis der Menschen selbst könnte durch die wachsenden Möglichkeiten der Informationselektronik zur Befriedigung des Kommunikationsbedürfnisses rückläufig beeinflußt werden. Es ist jedoch zu erwarten, daß dieser Einfluß durch das wachsende Transportbedürfnis kompensiert wird, das im Zuge der zunehmenden Freizeit entsteht.

2. Widerspiegelung der Antriebsaufgaben in der Energiewirtschaft

Im Abschn. 1. wurde die Entwicklung der Antriebstechnik aus der Sicht der Antriebsbedürfnisse betrachtet. Es erhebt sich nun die Frage, welches Gewicht die Befriedigung dieses Bedürfnisses in der Energiewirtschaft hat. Bild 1 zeigt den Energiefluß in der Volkswirtschaft eines industriell entwickelten Landes. Ein wesentlicher Teil der insgesamt in einem bestimmten Zeitraum zur Verfügung stehenden Primärenergie fließt in die Kraftwerke und wird dort in elektrische Energie umgewandelt. Diese elektrische Energie muß beim Verbraucher wieder in andere Energieformen überführt werden. Dabei beträgt der Anteil der in Antrieben umgesetzten elektrischen Energie an der insgesamt bereitgestellten elektrischen Energie in industriell entwickelten Ländern 50% und mehr. Dieser Anteil zeigt über die jüngste Vergangenheit gesehen eine wachsende Tendenz. Die Ursachen dafür sind in der zunehmenden Automatisierung der Produktion und Mechanisierung der Konsumtionssphäre zu suchen.

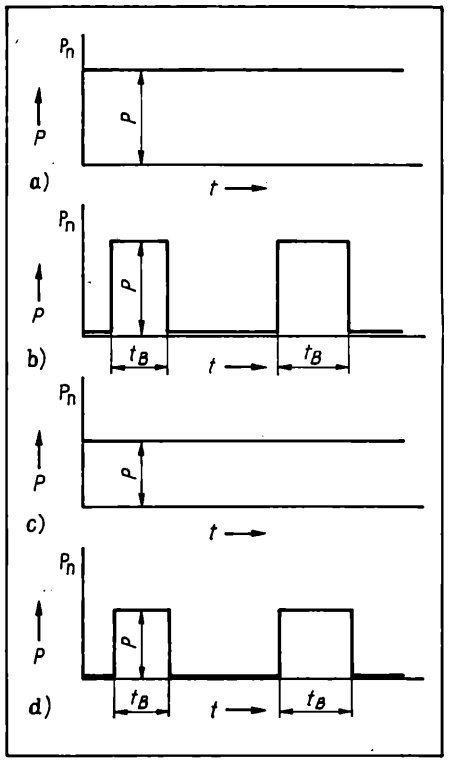


Bild 2
Einflüsse auf die Auslastung eines Motors
a) $\frac{P_m}{P_n} = 1$ durch dauernden Betrieb mit $P = P_n$
b) $\frac{P_m}{P_n} < 1$ durch zeitweiligen Betrieb mit $P = P_n$
c) $\frac{P_m}{P_n} < 1$ durch dauernden Betrieb mit $P < P_n$
d) $\frac{P_m}{P_n} < 1$ durch zeitweiligen Betrieb mit $P < P_n$
P_m mittlere Leistung
P_n Nennleistung
t_B Betriebszeit

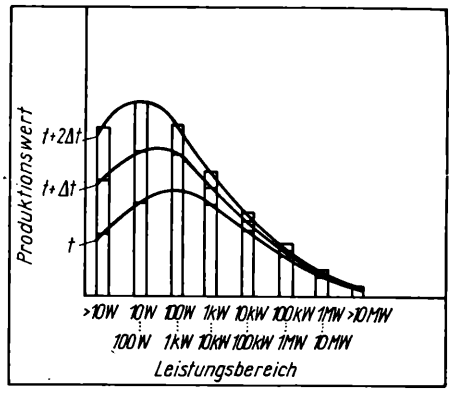


Bild 3
Verteilung des Produktionswerts von Elektromotoren auf Leistungsbereiche

Zukünftige Wachstumsraten als globale Größen wurden auf der Weltenergiekonferenz 1985 mit 1,5 bis 2,5 %/Jahr für die Primärenergie und mit 2 %/Jahr für die Elektroenergie prognostiziert. Diese Raten ergeben sich aus dem Wechselspiel des wirtschaftlichen Wachstums und der Durchsetzung der rationellen Energieanwendung. Sie werden sich selbstverständlich in den einzelnen Ländern differenziert umsetzen.

Wenn man annimmt, daß die Tendenz des wachsenden Anteils der in Antrieben umgesetzten Energie bestehen bleibt, muß mit Wachstumsraten für die in Antrieben umgesetzte Energie von 2 bis 3 %/Jahr gerechnet werden. Aus weiter unten zu erläuternden Gründen erfordert das im Zusammenhang mit der bestehenden Tendenz bei der Auslastung der Antriebe, daß für die produzierte Antriebsleistung mit höheren Wachstumsraten zu rechnen ist.

Während der energetische Wirkungsgrad bei der Erzeugung elektrischer Energie aus Primärenergie in den Kraftwerken, physikalisch bedingt, schlecht ist, wird die Wandlung elektrischer Energie in mechanische im Antrieb mit hohen Werten des Wirkungsgrades durchgeführt. So hat ein Standard-Asynchronmotor von 11 kW Leistung einen Wirkungsgrad von etwa 88 %. Dieser Wert läßt sich durch Mehraufwendungen an aktivem Material noch steigern. Man kann in diesem Leistungsbereich damit rechnen, daß 1 % Wirkungsgradverbesserung eine Steigerung des Materialeinsatzes von 6 % erfordert. Selbstverständlich schlägt sich das in entsprechend höheren Kosten und damit höheren Preisen um. Auf dem Markt angebotene sogenannte Energiesparreihen haben sich unter den gegenwärtigen Bedingungen hinsichtlich Energiekosten nicht durchgesetzt.

Wenn heute festgestellt wird, daß wirtschaftliches Wachstum mit geringeren Wachstumsraten der erzeugten elektrischen Energie möglich ist, als in der Vergangenheit ausgewiesen wurde und das auf das Durchsetzen der rationellen Energieanwendung zurückzuführen ist, so muß erkannt werden, daß die Antriebstechnik selbst Beiträge zu dieser Entwicklung geleistet hat und diese weiter leisten wird. Das bekannteste Beispiel dafür ist der Übergang zu drehzahlvariablen Pumpenantrieben, der weiter unten noch näher zu betrachten sein wird.

3. Produktionsaufgaben für Antriebstechnik

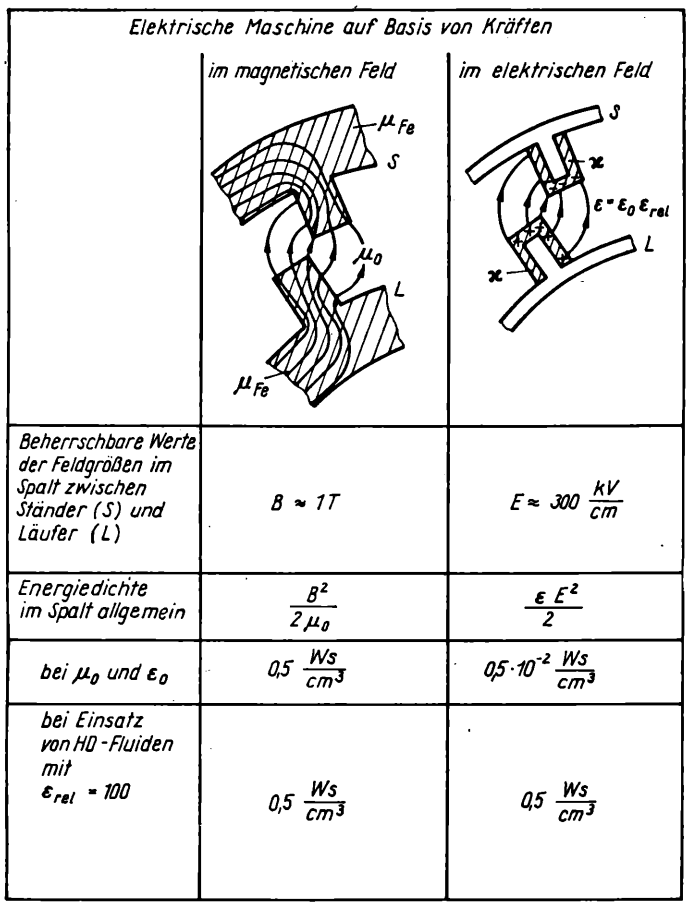
Im Zusammenhang mit der Abschätzung der Wachstumsrate für die in Antrieben umgesetzte Energie war bereits darauf hingewiesen worden, daß für die zu produzierende Antriebsleistung auf Grund der endlichen Auslastung der Antriebe mit einer noch höheren Wachstumsrate gerechnet werden muß. Diese Problematik soll im folgenden näher betrachtet werden. Das Verhältnis der installierten Antriebsleistung zur installierten Kraftwerksleistung eines Versorgungsbereichs beträgt 4 bis 6 bei wachsender Tendenz. Ursache dafür ist, daß das Verhältnis der mittleren Leistungsabgabe zur Nennleistung bei Kraftwerksgeneratoren in der Nähe von 90 %, aber bei Antrieben bei wesentlich geringeren Werten und zum Teil bei solchen von wenigen Prozent liegt. Die Ursachen dafür werden im Bild 2 erläutert. Im Idealfall des durchlaufenden Betriebs bei Nennleistung (s. Bild 2a) ergibt sich ein Verhältnis der mittleren im Antrieb umgesetzten Leistung P_m zur Nennleistung P_n von 1. Da Antriebe aber normalerweise nicht durchlaufen, verringert sich dieses Verhältnis, wie Bild 2b) zeigt, nach Maßgabe des Verhältnisses der Betriebszeit t_B zur Gesamtzeit t. Dieser Einfluß verstärkt sich im Zuge der Zunahme der Produktionsautomatisierung und der Mechanisierung der Konsumtionssphäre. Die Auslastung wird zusätzlich dadurch verringert, daß der Antrieb — wie die Bilder 2c) und 2d) ausweisen — vielfach nie mit seiner Nennleistung betrieben wird. Diese Erscheinung ist Ausdruck der sogenannten Projektierungsreserven, bzw. besser gesagt, der bestehenden Projektierungsunsicherheiten. Sie läßt sich durch Verbesserung der Projektierungshilfsmittel reduzieren, ist jedoch auf Grund der endlichen Staffelung der Nennleistungen bei Serienerzeugnissen nicht beliebig abbaubar. Es muß daher damit gerechnet werden, daß sich die Auslastung der Antriebe im Mittel weiter verschlechtert und damit Wachstumsraten für die produzierte Antriebsleistung entstehen, die über denen der in Antrieben umgesetzten Energie liegen. Die Wachstumsrate des Produktionswertes wird noch über diesem Wert liegen. Dafür gibt es zwei Ursachen. Die erste ist, daß sich das Maximum des Produktionswertes ständig zu kleineren Leistungen hin verschiebt, bei denen der leistungsbezogene Preis höher liegt als bei großen Leistungen. Im Bild 3 ist die Verteilung des Produktionswertes auf Leistungsbereiche für 3 Zeitpunkte aus der Verallgemeinerung verfügbaren Zahlenmaterials dargestellt worden. Man erkennt, wie sich das Maximum des Produktionswertes aus dem Bereich 100 bis 1000 W in den Bereich 10 bis 100 W verschiebt.

Die zweite Ursache ist, daß drehzahlvariable Antriebe, d.h. solche, die über ein elektronisches Stellglied betrieben werden und damit einen höheren Wert repräsentieren, besonders hohe Wachstumsraten zeigen, wie weiter unten noch zu behandeln ist.

4. Bestand oder Wandel im Motor-Wirkprinzip

Wenn Gedanken über die zukünftige Entwicklung der Antriebstechnik formuliert werden, kann die Frage nach dem Bestand des heute genutzten Wirkprinzips der elektromechanischen Energiewandlung, das auf der Ausnutzung von Kräften im Magnetfeld beruht, nicht umgangen werden. Im folgenden wird deshalb der Versuch unternommen, eine Bewertung der Chancen des alternativen Wirkprinzips vorzunehmen, das Kräfte im elektrischen Feld ausnutzt. Im Bild 4 sind dazu zwei einander etwa entsprechende Anordnungen dargestellt, wobei in der linken Kräfte im magnetischen Feld und in der rechten solche im elektrischen Feld auftreten. Das Verführerische an der Ausnutzung von Kräften im elektrischen Feld ist, daß dieses Feld ein Quellenfeld darstellt, d.h. die Feldlinien enden auf Oberflächenladungen. Demgegenüber ist das magnetische Feld ein Wirbelfeld — die Feldlinien bilden geschlossene Linien. Um ihnen einen bequemen Weg zur Verfügung zu stellen, ist der Eisenkreis erforderlich, der etwa 60 % der Masse eines Elektromotors ausmacht.

Maßgebend für die erzielbaren Kräfte und damit der Drehmomente ist die Energiedichte des Feldes im Spalt zwischen Ständer und Läufer. Mit den begrenzenden Feldgrößen der Induktion von 1 T im Fall des magnetischen Feldes und der elektrischen Feldstärke von 300 kV/cm im Fall des elektrischen Feldes und Luft im Spalt zwischen Ständer und Läufer ist die Energiedichte des elektrischen Feldes um zwei Größenordnungen kleiner als die des magnetischen Feldes. Dieser Unterschied läßt sich ausgleichen, wenn im Spalt zwischen Ständer und Läufer der Anordnung auf Basis des elek-



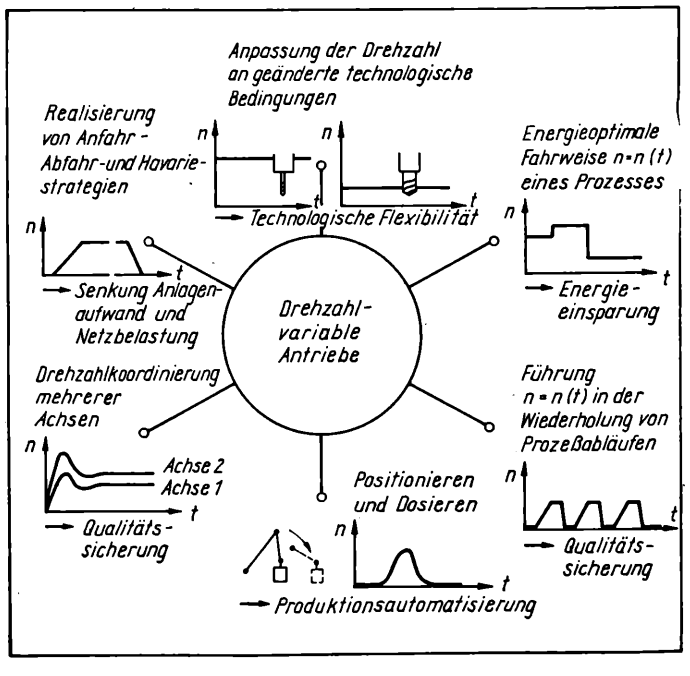
Beherrschbare Werte der Feldgrößen im Spalt zwischen Ständer (S) und Läufer (L)	$B \approx 1T$	$E \approx 300 \frac{kV}{cm}$
Energiedichte im Spalt allgemein	$\frac{B^2}{2\mu_0}$	$\frac{\varepsilon E^2}{2}$
bei μ_0 und ε_0	$0{,}5 \frac{Ws}{cm^3}$	$0{,}5 \cdot 10^{-2} \frac{Ws}{cm^3}$
bei Einsatz von HD-Fluiden mit $\varepsilon_{rel} = 100$	$0{,}5 \frac{Ws}{cm^3}$	$0{,}5 \frac{Ws}{cm^3}$

Bild 4. Vergleich der Wirkprinzipien auf der Basis von Kräften im magnetischen Feld und von Kräften im elektrischen Feld

trischen Feldes ein sogenanntes HD-Fluid mit einer relativen Dielektrizitätskonstante von $\varepsilon_{rel} = 100$ eingesetzt wird. Stoffe, die derartige Eigenschaften nahezu haben, sind heute verfügbar und damit wird, abgesehen von dem Problem der Beherrschung der Reibung, die Frage nach der Anwendbarkeit des Prinzips auf der Basis des elektrischen Feldes neu gestellt. Diese Frage beantwortet sich unseres Erachtens wie folgt:

Unter Anwendung der HD-Fluide sind Energiewandler auf der Basis von Grenzflächenkräften im elektrischen Feld prinzipiell realisierbar und werden in Sonderfällen Eingang finden, z.B. in lokalen Generator-Motor-Systemen. Beherrschbare Werte des Spalts zwischen Ständer und Läufer führen jedoch notwendigerweise auf hohe Spannungen. Diese Spannungen korrelieren nicht mit der Leistungs-Spannungs-Zuordnung der bestehenden Elektroenergieversorgung. Dadurch wird sich ein potentieller Einsparungseffekt beim eigentlichen Energiewandler gegenüber den zusätzlichen Aufwendungen, die für das Stellglied zwischen Netz und Wandler erforderlich würden, aufzehren.

Bild 5. Einsatzaspekte drehzahlvariabler Antriebe



5. Qualitative Anforderungen an den Antrieb

Bisher wurde die zu erwartende Entwicklung vordergründig aus quantitativer Sicht betrachtet. Es ist nunmehr erforderlich, einige Betrachtungen über Stand und Tendenzen der Antriebsqualität anzustellen.

Die elektrische Energie wird dem Antrieb dominierend über Drehstromnetze zugeführt. Für kleinere Leistungen, z.B. im Haushalt, stehen nur Wechselstromnetze zur Verfügung. Gleichstromnetze existieren nur noch als lokale Netze auf Fahrzeugen oder in tragbaren Geräten. Die mechanische Energie, die der Antrieb liefert, wird vielfach noch mit mechanischen Mitteln in ihren Parametern verändert, z.B. mit Hilfe von Getrieben, Mechanismen, Spindeln usw.

Der Einfachantrieb, gekennzeichnet dadurch, daß dem Motor kein leistungselektronisches Stellglied vorgeschaltet ist, dominiert auch heute noch absolut. Er realisiert die Antriebsaufgabe allein durch Wahl eines geeigneten Motorprinzips. Sein Einsatz zieht prinzipbedingte technische Restriktionen nach sich. Die wichtigsten derartigen Restriktionen sind für Asynchron- und Synchronmotoren, die am Drehstrom- bzw. Wechselstromnetz arbeiten:

— die fehlende Möglichkeit einer stufenlosen Drehzahlstellung und
— die Begrenzung der maximal realisierbaren Drehzahl durch die Netzfrequenz (bei 50 Hz auf 3000 min^{-1}).

6. Drehzahlvariable Antriebe

Gegenwärtig beobachtet man ein überproportionales Wachstum drehzahlvariabler Antriebe. Die Aspekte für den zunehmenden Einsatz drehzahlvariabler Antriebe sind mannigfaltig. Im Bild 5 werden eine Reihe derartiger Aspekte vorgestellt. Demnach bieten drehzahlvariable Antriebe folgende Möglichkeiten:

— die Anpassung der Drehzahl an Erfordernisse des technologischen Prozesses und damit die Sicherung der technologischen Flexibilität
— die energieoptimale Fahrweise von Prozessen
— eine elegante Beherrschung von An- und Abfahrstrategien und damit Reduzierung des Anlagenaufwandes und der Netzbelastung
— die Drehzahlkoordinierung zwischen mehreren Achsen
— die Führung der Drehzahl in der Wiederholung von Prozeßabläufen und damit Sicherung der Qualität des Fertigungsprozesses
— das Positionieren von Werkstücken und das Dosieren von Mengen innerhalb der Produktionsautomatisierung.

Zur Realisierung drehzahlvariabler Antriebe kommen bisher neben dem Gleichstrommotor, der mit variabler Spannung betrieben wird, nach wie vor zum Einsatz:

— mechanische Verstellantriebe
— polumschaltbare Asynchronmotoren
— Drehstromnebenschlußmotoren
— Wirbelstrombremsen.

Die Entwicklung der Leistungs- und der Informationselektronik ermöglichen es heute, Antriebe in einem großen Bereich hinsichtlich

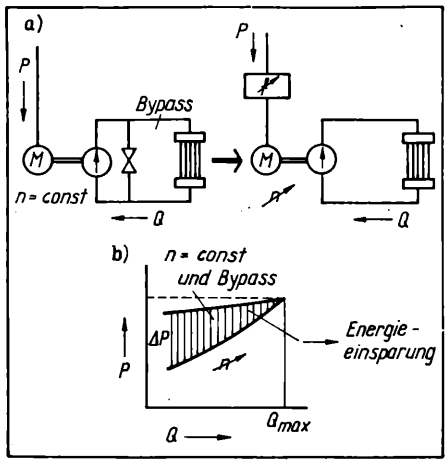


Bild 6
Drehzahlvariabler Pumpenantrieb
a) Übergang vom Antrieb mit n = const und Bypassregelung zum drehzahlvariablen Antrieb
b) Typischer Einfluß auf die Abhängigkeit der aufgenommenen Leistung P von der Fördermenge Q

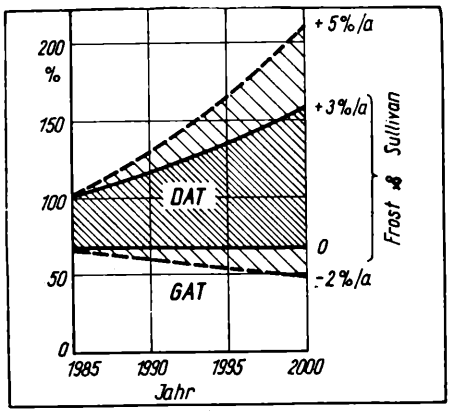


Bild 7
Entwicklungstrend der Produktionswerte drehzahlvariabler Antriebe in Gleichstromantriebstechnik (GAT) und in Drehstromantriebstechnik (DAT)

Drehzahl und Drehmoment ohne Zwischenschaltung von Getrieben und unabhängig von den Parametern der verfügbaren elektrischen Energie sowie unter Verwendung unterschiedlicher Motorprinzipien zu realisieren. Die gleichen Mittel ermöglichen es, einen gegebenen Antrieb in einem großen Bereich der Drehzahl-Drehmomentebene zu betreiben. Mit der Preisdegression der Elektronik verschieben sich außerdem die ökonomischen Restriktionen. Dadurch kann sich als modernste Lösung drehzahlvariabler Antriebe die Drehstromantriebstechnik entwickeln. Dabei stellt ein leistungselektronisches Stellglied Spannungen bzw. Ströme variabler Frequenz und/oder Amplitude zur Verfügung, mit denen Asynchron- oder Synchronmotoren gespeist werden. Diese Entwicklung wird heute ermöglicht durch

— die Preisvorteile des Asynchronmotors gegenüber dem Gleichstrommotor
— die Honorierung des geringeren Wartungsaufwandes
— höhere Grenzwerte für Leistung und Drehzahl
— die unproblematische Realisierung des Explosionsschutzes.

Hinzu kommt, daß durch Nachrüsten eines Umrichters, ohne den vorhandenen Asynchronmotor auszutauschen, nachträglich zum drehzahlvariablen Betrieb übergegangen werden kann.
Große Impulse für die Entwicklung der drehzahlvariablen Drehstromantriebe sind von Pumpenantrieben ausgegangen. Bild 6a) zeigt den Übergang vom Antrieb mit konstanter Drehzahl und Bypassregelung zum drehzahlvariablen Antrieb. Bei der herkömmlichen Regelung der Durchflußmenge mit Bypass geht beim Öffnen des Bypass-Ventils und konstanter Pumpendrehzahl die Durchflußmenge zurück, aber die Antriebsleistung der Pumpe bleibt praktisch unverändert, und die Leistungsdifferenz wird im Bypass in Wärme umgewandelt. Wenn man stattdessen den Förderdruck der Pumpe durch Verringerung der Drehzahl ihres Antriebs herabsetzt, entfallen diese Verluste, und die Antriebsleistung geht mit der Fördermenge zurück. Es ergeben sich — je nach Spezifik der Anlage — Energieeinsparungen bis zu 60 %.
Man muß heute feststellen, daß energiewirtschaftliche Aspekte allein dem drehzahlvariablen Drehstromantrieb nicht zum Durchbruch verholfen haben. Von entscheidendem Einfluß auf seine Anwendung waren oft andere Möglichkeiten der Einflußnahme auf die Qualität eines Prozesses, wie sie im Bild 5 dargestellt sind.
Die quantitative Entwicklung des Produktionswerts drehzahlvariabler Antriebe ist im Bild 7 auf der Basis verschiedener Quellen zu charakterisieren versucht worden. Dabei wurde das Jahr 1985 als Bezugsjahr verwendet und für drehzahlvariable elektrische Antriebe insgesamt mit Wachstumsraten von 3 bis 5 %/Jahr gerechnet. Wenn für die Gleichstromtechnik mit Stagnation oder einem Rückgang des Produktionswerts entsprechend 2 %/Jahr gerechnet wird, erkennt man, daß zwischen 1990 und 1995 Gleichheit im Produktionswert zwischen den beiden Systemen zu erwarten ist. Natürlich werden auch dabei Unterschiede für einzelne Länder und erst recht für einzelne Produzenten auftreten.
Die allseitige Automatisierung erfordert flexibel einsetzbare Antriebe, deren Bausteine von der Steuerung und Regelung über den Motor bis zu den Sensoren für die Bewegungsgrößen kompatibel sind. Diese Bausteine müssen demnach mit definierten Schnittstellen bereitgestellt werden. Andererseits entsteht ein wachsender Bedarf an Stellantrieben insbesondere auch im Bereich kleiner Leistungen, für die oft hohe dynamische Forderungen bestehen. In diesem Bereich wird sich der Schrittantrieb in seiner Kompatibilität zur Digitaltechnik auch in Zukunft behaupten. Es werden Wachstumsraten von 5 % pro Jahr für den Weltmarkt eingeschätzt. Dabei überwiegt die Ausführung als sogenannter Hybridmotor, bei dem einerseits Permanenterregung vorhanden ist und andererseits das Reluktanzprinzip zur Wirkung kommt. Selbstverständlich wird sich gerade beim Schrittantrieb die Mikroprozessorsteuerung durchsetzen. Sie ermöglicht es, den Antrieb allein durch Programmierung den verschiedensten Anwendungsgebieten anzupassen.

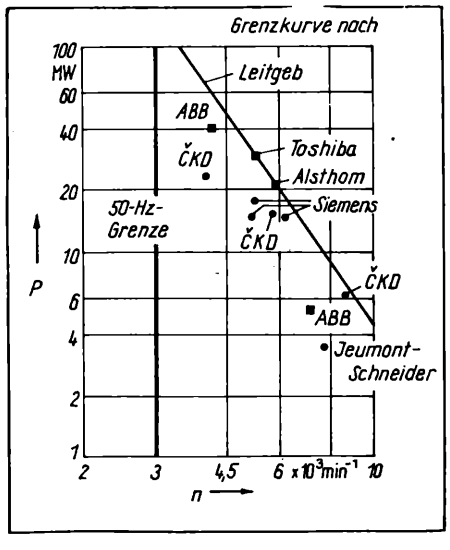


Bild 8
Ausführungsbeispiele hochtouriger Hochleistungsantriebe nach *Leitgeb* [3] mit Ergänzungen

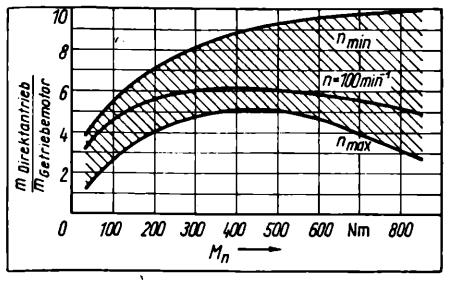


Bild 9
Massenvergleich zwischen Direktantrieb und VEM-Getriebemotoren

7. Hochtourige Antriebe

Die Drehstromantriebstechnik ermöglicht es, hochtourige Antriebe — d.h. solche mit Drehzahlen oberhalb 3000 min^{-1} — für große Leistungen auszuführen. Davon wird schon heute, wiederum vor allem bei Antrieben für Pumpen und Verdichter, Gebrauch gemacht. Diese Entwicklung wird sich fortsetzen, denn sie bietet folgende Vorteile:

— Eliminierung des Getriebes
— Nutzung der Vorteile der höheren Drehzahl für Herstellung und Betrieb der Arbeitsmaschinen
— Verkleinerung des Motors
— Reduzierung des Wartungsaufwandes und der Betriebskosten gegenüber Lösungen mit Antrieben durch Gas- oder Dampfturbinen.

Als Motoren kommen dabei Synchronmaschinen zum Einsatz. Im Bild 8 sind bekannt gewordene Ausführungen und Projekte in der Leistungs-Drehzahl-Ebene eingetragen worden. In das Diagramm wurde zusätzlich die 50-Hz-Grenze und eine von *Leitgeb* angegebene Grenzkurve aufgenommen.

8. Niedertourige Antriebe

Eine interessante Entwicklung zeichnet sich im Bereich kleiner Drehzahlen ab. Obwohl der Aufwand für den Motor dabei steigt, denn das Drehmoment bestimmt seine Baugröße, werden getriebelose niedertourige Großantriebe zunehmend als umrichtergespeiste Drehstromantriebe ausgeführt. Neben dem Wegfall des Getriebes werden mit einer derartigen Lösung auch mechanische Stoßbeanspruchungen leichter beherrscht, und es bietet sich an, sie gleichzeitig drehzahlvariabel zu betreiben.
Demgegenüber wird sich für den niedertourigen Massenantrieb im Leistungsbereich bis einige 10 kW der Getriebemotor als konstruktive Einheit eines schnellaufenden — und damit kleinen Motors — mit einem untersetzenden Getriebe als ökonomisch unüberbietbare Lösung weiter behaupten. Um das zu demonstrieren, ist im Bild 9 das Massenverhältnis zwischen einem Motor für Direktantrieb und einem entsprechenden VEM-Getriebemotor als Funktion von Lei-

stung und Drehzahl dargestellt worden. Dabei wurde für den Direktantrieb ein listenmäßiger Motor mit gleichem Nenndrehmoment ausgewählt und darauf verzichtet, die Konsequenzen bei der technischen Realisierung der hohen Polpaarzahl und der Beherrschung der Kühlung zu berücksichtigen, die das Bild weiter verschlechtert hätten.

9. Fahrzeugantriebe

Wichtige Impulse an die Antriebstechnik sind aus der Sicht der Entwicklung des Transportwesens zu erwarten. Die Elektrotraktion, die heute noch teilweise mit Gleichstrom- oder Einphasen-Reihenschlußmotoren ausgerüstet wird, zeigt folgende Tendenzen:

— Weiterentwicklung der konventionellen Technik auf der Grundlage der Paarung von Rad und Schiene und dabei Übergang zur Drehstromantriebstechnik
— Entwicklung neuartiger spurgeführter Fahrzeuge, z.B. als Magnetschwebebahn mit Linearmotor.

Diese Entwicklungen werden ausgelöst durch die Anforderungen nach

— höherer Geschwindigkeit
— größerer Sicherheit
— erhöhtem Fahrkomfort
— Vereinheitlichung des Fahrzeugparks
— optimierten Fahrprogrammen
— Verringerung der Wartung.

Die Ausweitung der Produktion von Elektroautos wird von der Weiterentwicklung der Hochleistungsbatterien entscheidend bestimmt werden. Mit der Verfügbarkeit von Natrium-Schwefel-Batterien ist offensichtlich die Schallmauer in dieser Frage erreicht. Ob sie durchbrochen wird, hängt von den Erfahrungen mit in nächster Zeit in größeren Serien zu erwartenden Fahrzeugen, von der Weiterentwicklung der Hochleistungsbatterien und von der zukünftigen Relation Kraftstoffpreis zu Elektroenergiepreis ab. In dieser Relation liegen die Anreize für den Käufer, während sie für die Gesellschaft in der Umweltfreundlichkeit begründet sind.

10. Einfluß der Entwicklungsfortschritte bei leistungselektronischen Bauelementen

Der Leistungselektronik stehen neben Dioden und Frequenz-Thyristoren abschaltbare Bauelemente vor allem in Form von Leistungstransistoren und GTO-Thyristoren zur Verfügung. Sie ermöglichen einfachere Lösungen für das Abschalten, das im Zusammenhang mit der Drehstromantriebstechnik an Bedeutung gewonnen hat, und kommen damit dem idealen Bauelement eines Gleichstromschalters näher.

Die leistungselektronischen Bauelemente werden für Spannungen hergestellt, die den Direktanschluß an das Niederspannungsnetz bzw. bei Thyristoren auch an das Mittelspannungsnetz ermöglichen.

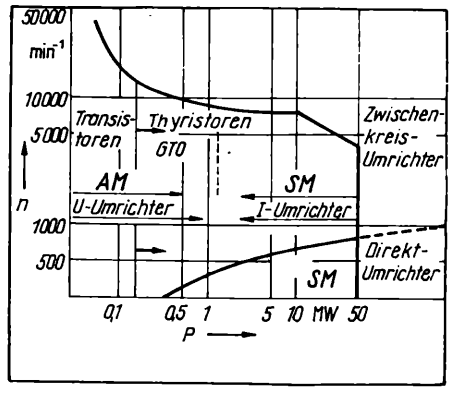
Im Bild 10 ist versucht worden, die Einsatzbereiche der leistungselektronischen Bauelemente in den Frequenzumrichtern der Drehstromantriebstechnik zusammen mit den Motorprinzipien und den Umrichtern in der Drehzahl-Leistungs-Ebene gegeneinander abzugrenzen. Der untere Leistungsbereich wird von der Transistortechnik beherrscht, während sehr große Leistungen der Thyristortechnik vorbehalten bleiben. Man beobachtet heute eine Verschiebung der Einsatzgrenze des Transistors zu größeren Leistungen hin und in diesem Zusammenhang eine Verdrängung des GTO-Thyristors. Hinsichtlich der Motorprinzipien sind große Leistungen der Synchronmaschine vorbehalten. Im Bereich kleiner Leistungen finden sich sowohl Synchron- als auch Asynchronmaschinen, erstere vor allem als Elektronikmotor. Im mittleren Leistungsbereich dominiert die Asynchronmaschine.

In zunehmendem Maße werden Module angeboten, die in verschiedenen Formen mehrere Leistungsbauelemente, z.B. als Brückenzweig oder ganze Brücke sowie Leistungsbauelemente einschließlich Schutzbeschaltung (PIC = Power Integrated Circuit) enthalten. In den nächsten Jahren wird ein merklicher Anteil von Leistungsbauelementen in Form von Modulen umgesetzt werden.

11. Einfluß der Entwicklungsfortschritte der Informationselektronik

Die Signalverarbeitung für Steuerung und Regelung, die ursprünglich ausschließlich mit analogen Signalen und unter Verwendung von diskreten Bauelementen realisiert wurde, steht vollständig im Zeichen der schnellen Entwicklung der Mikroelektronik. Dabei wurde

Bild 10
Einsatzbereiche der Umrichterarten leistungselektronischen Bauelemente und Motorprinzipien



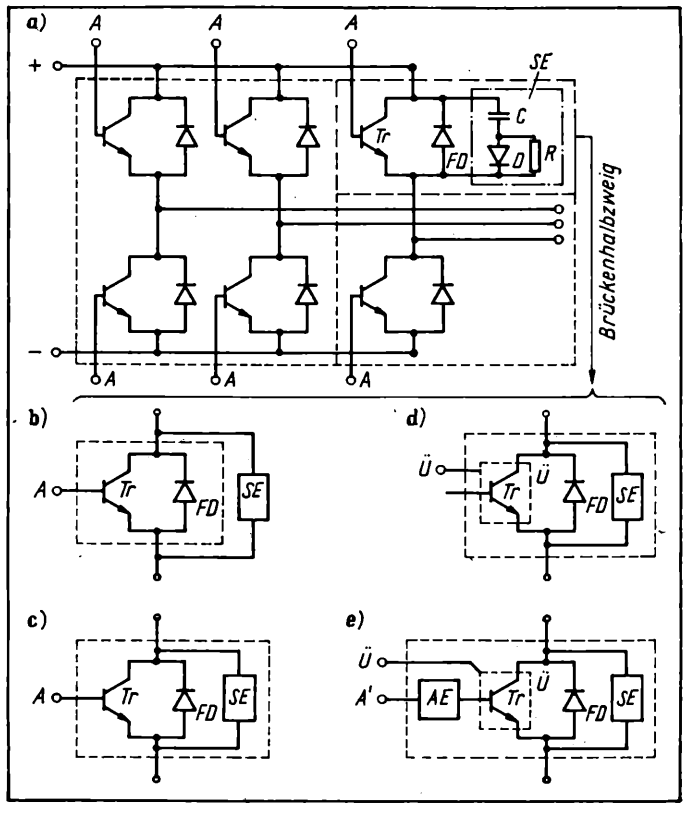


Bild 11. Tendenzen der Integration von Leistungs- und Informationselektronik für einen Brückenhalbzweig

a) Ausgangsanordnung
b) 1. Schritt: Modul Tr + FD
c) 2. Schritt: Modul Tr + FD + SE
d) 3. Schritt: Modul Tr + FD + SE + Ü
e) 4. Schritt: Modul Tr + FD + SE + Ü + AE

Tr Transistor
FD Freilaufdiode
SE Schaltentlastungseinrichtung (z.B. RCD-Beschaltung)
Ü Überwachungseinrichtung
AE Ansteuereinrichtung
A Ansteueranschluß

zunächst von den Möglichkeiten der Schaltungsintegration Gebrauch gemacht; es existiert eine zunehmende Anzahl antriebsspezifischer Schaltkreise. Zum anderen vollzieht sich der Übergang von der analogen zur digitalen Signalverarbeitung.

Das hohe Entwicklungstempo der Mikroelektronik wird hochaggregierte Rechner zu niedrigen Preisen verfügbar machen. Dadurch ist ein vollständiger Übergang zur digitalen Regelung und Steuerung zu erwarten. Sie ermöglicht es, eine weitgehend unifizierte Hardware für ein großes Spektrum von Antriebsaufgaben einzusetzen und die Anpassung in dem speziellen Antrieb, d.h. an den Motor einerseits und die Antriebsmaschine andererseits, über Software vorzunehmen. Gleichzeitig wird der Antrieb dialogfähig, denn seine aktuellen Zustandsdaten können jederzeit über einen entsprechenden Datenbus nach außen bzw. zu einem übergeordneten Rechner geführt werden. Damit wird gleichzeitig die Diagnose ermöglicht. Andererseits erfordert die Inbetriebnahme eines derartigen Antriebs nur noch Eingriffe in die Programmdaten. Der Lötkolben verschwindet von der Baustelle.

12. Integration von Bauelementen der Leistungselektronik und der Informationselektronik

Die Integration von Bauelementen der Leistungselektronik mit solchen der Informationselektronik hat begonnen. Es entstehen die sogenannten „intelligenten leistungselektronischen Bauelemente".

Im Bild 11 ist versucht worden, die möglichen Vereinfachungen bei der Realisierung der Schaltung eines Umrichters in Schritten anzudeuten. Im ersten Schritt besteht der Modul aus Transistor und Freilaufdiode. Im zweiten Schritt ist die Schaltentlastungseinrichtung hinzugetreten. Der dritte Schritt ist dadurch gekennzeichnet, daß zusätzlich Überwachungseinrichtungen für den Transistor integriert wurden, und im vierten Schritt enthält der Modul schließlich auch die Ansteuereinrichtung. Die Möglichkeit der Integration von zwei derartigen Brückenhalbzweigen zu einem Brückenzweigmodul bzw. von sechs Brückenhalbzweigen zu einem Brückenmodul ist im Bild angedeutet.

Für kleine Antriebe ist eine vollständige Antriebselektronik in einem Bauelement vorstellbar. Wenn für die Bauelemente der Antriebstechnik, insbesondere für solche, die viele Funktionen integrieren, hinreichend große Stückzahlen benötigt werden, ist eine Preisentwicklung vorstellbar, die grundsätzliche Veränderungen in der Kostenstruktur eines Antriebs hervorruft.

13. Motorprinzipien

Die Beantwortung der Frage, welche Motorprinzipien in Anbetracht des Entwicklungsfortschritts der Leistungs- und Informationselektronik in Zukunft eingesetzt werden, muß von den heute und in Zukunft vorhandenen Netzen ausgehen. Das sind — wie bereits ausgeführt — im Bereich der öffentlichen Energieversorgung das Drehstromnetz und für kleinere Leistungen das darin enthaltene Wechselstromnetz, aber für lokale Netze mit Batteriespeisung — oder Stützung — nach wie vor und auch in Zukunft auch Gleichstromnetze, z.B. in tragbaren Geräten und auf Fahrzeugen.

Bei Einfachantrieben, d.h. Antrieben, denen kein leistungselektronisches Stellglied vorgeschaltet ist und die im allgemeinen durch keine oder nur bescheidene Anforderungen an die Stellbarkeit der Drehzahl gekennzeichnet sind, muß die Antriebsaufgabe, ausgehend vom vorliegenden Netz, allein durch Einsatz eines zweckmäßigen Motorprinzips gelöst werden. Im Bild 12 oben sind die wichtigsten Motorprinzipien in ihrer Zuordnung zu verfügbaren Netzen dargestellt. Dabei ist zu beachten, daß alle Motoren, die auf dem Asynchron- oder Synchronprinzip beruhen, eine obere Drehzahlgrenze von 3000 min^{-1} aufweisen. Höhere Drehzahlen sind nur mit dem Gleichstrommotor und im Bereich kleiner Leistungen mit dem Einphasen-Kommutatormotor erreichbar.

Bei Antrieben mit vorgeschaltetem Stromrichter, die im allgemeinen der Sicherung einer Stellbarkeit der Drehzahl dienen und im Bild 12 unten dargestellt sind, werden die Netze vom Prinzip her gleichberechtigt. Sie beeinflussen zusammen mit dem Motorprinzip lediglich, ob der vorzuschaltende Stromrichter als Gleichrichter (GR), Wechselrichter (WR), Umrichter (UR), Spannungssteller oder Pulssteller auszuführen ist. Da man Umrichter auch bei Betrieb am Einphasennetz ausgangsseitig mehrphasig ausführen kann, werden Einphasenvarianten der Asynchron- und Synchronmotoren nicht zum Einsatz kommen.

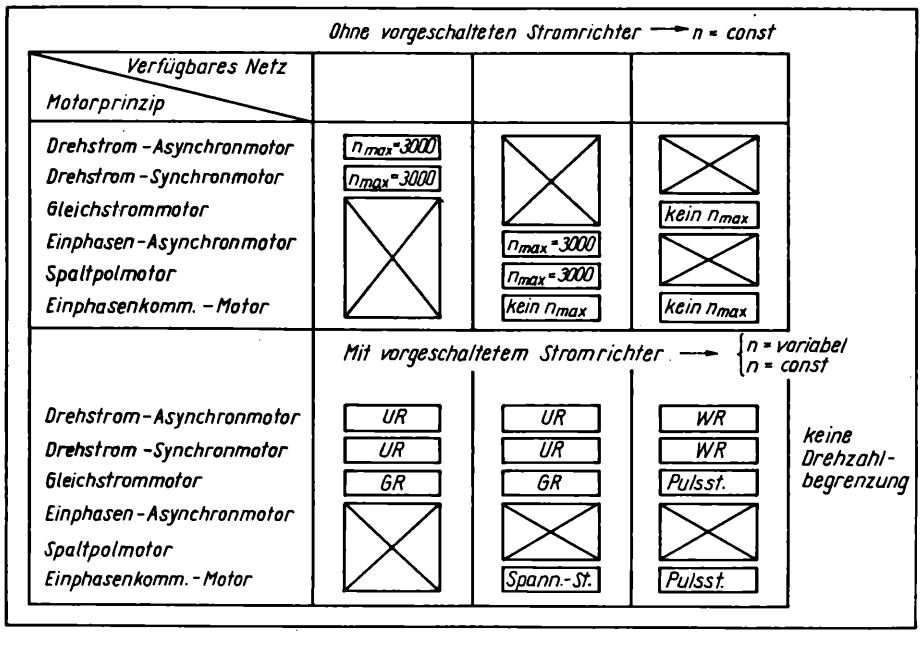
Die Anzahl der benötigten Motorprinzipien reduziert sich. Die verbleibenden Motorprinzipien haben folgende Kennzeichen:

— Drehstromasynchronmotoren sind die Motoren mit einfachstem Aufbau und niedrigstem Preis
— Drehstromsynchronmotoren und Gleichstrommotoren können die Entwicklungsfortschritte bei hartmagnetischen Werkstoffen nutzen
— Gleichstrommotoren und Einphasenkommutatormotoren benötigen ein Kommutator-Bürste-System.

Wenn man solche Motorprinzipien, die ein Kommutator-Bürste-System benötigen, in Frage stellt, so offenbart sich für die Zukunft, wie im Bild 13 dargestellt, eine Welt der Drehstromantriebstechnik. Dabei wird die Konkurrenz der Motorprinzipien Synchronmotor und Asynchronmotor weiter bestehen bleiben. Es gelten folgende Entwicklungsprinzipien:

— Wenn die Permanenterregung einsetzbar und ohnehin ein Einzweckmotor für hohe Ansprüche herzustellen ist, hat der Synchronmotor auch im Bereich kleiner Leistungen gute Aussichten. Für die Drehstrom-Antriebstechnik in der Traktion trifft das auf Grund der Motorgröße nicht zu und es zeichnet sich ab, daß dort das Asynchronprinzip in Zukunft dominieren wird.

Bild 12. Anwendung heute üblicher Motorprinzipien in Abhängigkeit vom speisenden Netz (Bezeichnung der verfügbaren Netze s. Bild 13)
ohne und mit vorgeschalteten Stromrichter



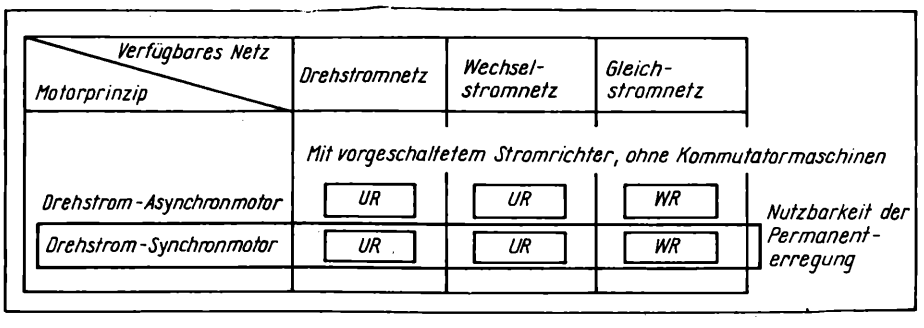


Bild 13. Vorstellbare zukünftige Motorprinzipien

— Der drehzahlvariable Massenantrieb mit hohen Anforderungen hinsichtlich Typenvielfalt wird immer auf der Basis des einfachsten und preiswertesten aller Motoren realisiert werden, daß heißt des Asynchronmotors.
— Der Großantrieb bleibt eine Domäne des Synchronmotors.

Die oben angeführte Integration und die Preisdegression der Elektronik lassen es möglich erscheinen, daß die Drehstromantriebstechnik auch in den Bereich der Konsumgüter eindringt, die heute dem Kommutatormotor aus Gründen der Drehzahlstellung und der hohen Drehzahl vorbehalten sind. Eine derartige Entwicklung zeichnet sich bereits bei Antrieben für Waschautomaten ab.
In dem Maße, wie sich die Anzahl der Motorprinzipien reduziert, wachsen die Stückzahlen der verbleibenden Prinzipien, d.h. insbesondere bei Asynchronmotoren. Dadurch wird sich der technologische Vorteil dieser Motorart verstärken. Es lohnt sich, weiterhin aufwandsenkende Verfahren zu entwickeln und einzusetzen.

14. Entwicklung der elektrischen Maschine

Es verbleibt, auf die Frage einzugehen, welche Entwicklung die elektrische Maschine selbst vor sich hat. Die Erhöhung ihrer Gebrauchswerte einerseits und die Reduzierung des Produktionsaufwands erfordern Entwicklungsreserven von seiten der Werkstoffe und der Technologien.
In der konstruktiven Entwicklung zeichnen sich zwei scheinbar einander entgegengerichtete Tendenzen ab. Auf der einen Seite werden zunehmend elektronische Baugruppen in die elektrische Maschine integriert werden und auf der anderen wird sie selbst zunehmend in Finalerzeugnisse integriert. Zu integrierende Baugruppen werden sich z.B. aus der Sicht der Einführung von komplexen Überwachungssystemen für den Antrieb ergeben. Das strategische Gewicht derartiger Überwachungssysteme folgt vor allem aus den Produktionsverlusten, die bei einem unvorhergesehenem Ausfall des Antriebs und damit einer außerplanmäßigen Reparatur eintreten.
Bei weichmagnetischen Werkstoffen sind neue Qualitäten zu erwarten, wenn es gelingt, eine wenigstens teilweise Ausbildung von Würfelflächentexturen zu erreichen, durch die eine bevorzugte Magnetisierbarkeit in die Blechebene entsteht. Der Einsatz von texturiertem Blech in der elektrischen Maschine wird davon abhängen, ob der zu erwartende Mehrpreis durch Einsparungen in der Maschine ausgeglichen wird.
Die interessante Entwicklung der amorphen weichmagnetischen Bänder mit ihren extrem niedrigen Verlusten wird für den Elektromaschinenbau keine Bedeutung erlangen, da der Einsatz auf Grund der geringen Blechdicke nur bei kleinen Maschinen möglich erscheint und bei diesen die Magnetisierbarkeit in größerem Maße in die Dimensionierung eingeht als die spezifischen Verluste. Die Magnetisierbarkeit der amorphen Bänder ist jedoch naturgegeben gering.
Bei hartmagnetischen Werkstoffen hat in den letzten Jahrzehnten und Jahren eine schnelle Entwicklung stattgefunden (s. Bild 14). Sie wurde zunächst von den Seltenerd-Kobalt-Magneten getragen und steht heute im Zeichen der Magnete auf der Basis von Nd Fe Br, die, abgesehen vom Temperaturverhalten, noch bessere Eigenschaften haben und außerdem kobaltfrei sind. Technologisch interessant werden plastgebundene Formen derartiger Magnete.
Mit Rücksicht auf die eingeschätzte Entwicklung der drehzahlvariablen Antriebe hat sich der Einsatz von Synchronmotoren als eines der möglichen Lösungskonzepte herausgestellt. Derartige Antriebe können vom Entwicklungsfortschritt bei hartmagnetischen Werkstoffen profitieren. Tatsächlich ist es gerade die Kombination mit diesem Entwicklungsfortschritt, die diese Variante für den zukünftigen drehzahlvariablen Antrieb interessant macht. Das gilt vor allem dann, wenn für Antriebe mit hohen Gebrauchswerten ohnehin eine spezielle Motorausführung erforderlich wird.
Merkliche Preisdegressionen bei hochwertigen Hartmagnetika lassen es möglich erscheinen, daß Antriebe, die in großen Stückzahlen und drehzahlvariabel gefordert werden, auch im Bereich der Konsumgüter unter Einsatz von Synchronmotoren ökonomisch vertretbar werden.
Bei den Isoliersystemen existieren ausgereifte Systeme in den Wärmebeständigkeitsklassen B und F sowie für höhere Anforderungen auch in H. Isoliersysteme mit darüber liegender Wärmebeständigkeit befinden sich in der Entwicklung. Da der weiteren Erhöhung der Ausnutzung der Maschine wegen der damit verbundenen Tendenz der Verschlechterung der energetischen Parameter mit Zurückhaltung begegnet wird, dient der Einsatz höherwertiger Isoliersysteme heute und in Zukunft in erster Linie der Erhöhung

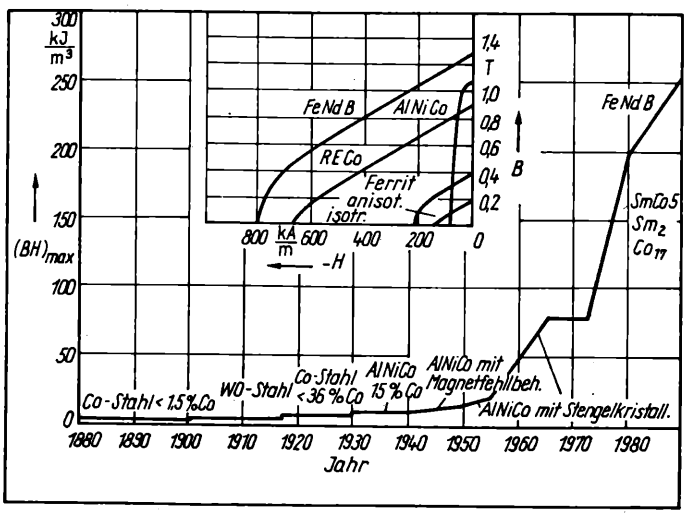


Bild 14. Entwicklung hartmagnetischer Werkstoffe

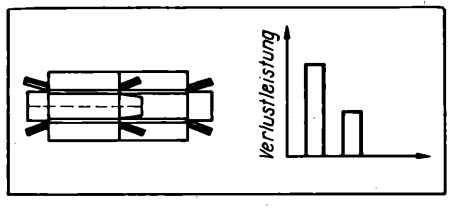


Bild 15
Anwendungsmöglichkeiten der Supraleitung

Tafel zu Bild 15

Eigenschaft der Supraleitung Spezifischer Widerstand $\varrho = 0$ bei	Temperatur $T < T_c$	Stromdichte $S < S_c$	Feldstärke $H < H_c$
Konventionelle Supraleiter z. B. Nb Ti	$T_c = 9{,}2$ K → Kühlung mit LHe		
Hochtemperatur Supraleiter z. B. YBa Cu O	$T_c \approx 90$ K → Kühlung mit LN_2		

Anwendungsmöglichkeit im Elektromaschinenbau

- Synchronmaschine mit supraleitender Erregerwicklung als Kraftwerksgenerator
- Arbeitsstand: Prototypen in den nächsten Jahren auf der Basis von Nb Ti und LHe-Kühlung
- Effekt: Masse, Volumen, Verlustleistung } reduzieren sich auf etwa 50 %

der Zuverlässigkeit. Die weitere Entwicklung wird daher in Richtung auf Isoliersysteme mit hohen Alterungsreserven gehen und auf solche, die technologiefreundlich sind und damit zur Verringerung des Fertigungsaufwands beitragen. Den lebensdauerorientierten Kompositionen von Isoliersystemen wird mit Vorliegen der Neufassung der IEC-Publikation 85 große Beachtung zu schenken sein.
Bei den klassischen Leiterwerkstoffen bestehen keine weiteren Entwicklungsmöglichkeiten. Die Preisrelationen zwischen Aluminium und Kupfer räumen auch einer Neuauflage von Aluminiummotoren in nächster Zeit keinen Raum ein.
Eine spektakuläre Entwicklung im Bereich der Leitermaterialien vollzieht sich bei den sogenannten Supraleitern mit der Entdeckung der Hochtemperatur-Supraleitung. Der Effekt der Supraleitung, daß zumindest Gleichströme verlustlos fließen können, wurde bisher nur bei Temperaturen beobachtet, die wenige Kelvin über dem absoluten Nullpunkt liegen, so daß die Anwendung des Effekts große Aufwendungen auf der Seite der Kältetechnik erfordert. Die 1986 entdeckte Hochtemperatur-Supraleitung verspricht Anwendungsmöglichkeiten bei der Temperatur des flüssigen Stickstoffs, d.h. bei immerhin 78 K. Das ist eine für die Tieftemperaturtechnik hohe Temperatur, die mit vergleichsweise bescheidenem Aufwand an Kältetechnik betriebssicher beherrschbar erscheint. Deshalb werden weltweit neue Überlegungen über die Anwendung der Supraleitung angestellt. Bild 15 erläutert die Anwendungsmöglichkeiten der Supraleitung.
Im Elektromaschinenbau kommt der Einsatz der Supraleitung in erster Linie dort in Frage, wo ein zeitlich konstantes Feld aufgebaut werden muß, d.h. im Polsystem der Synchronmaschine. Derartige Synchronmaschinen befinden sich z.Z. bei verschiedenen Herstellern von Kraftwerksgeneratoren in der Phase des Baus von Prototypen. Dabei kommen konventionelle Supraleiter zum Einsatz. Man erwartet, daß sich Masse, Volumen und Verluste gegenüber einer kon-

Logiksimulation von PS-2000-Programmen

L. Holst, KDT; K. Schmutzer; Halle

In Ergänzung der in [1] vorgestellten dialogorientierten Projektierungshilfen für PS-2000-Steuerungen wurde ein Programm zur Logiksimulation entwickelt. Es arbeitet auf Rechnern des Typs K 1600 mit dem bereits gespeicherten PS-2000-Programm und ermöglicht den Logiktest beliebiger Programmabschnitte durch den Projektanten im Bildschirmdialog. Dabei können z.B. technologisch zusammengehörige Antriebe und ihre Verknüpfung simuliert werden, indem eine Kombination von Anfangsbedingungen gesetzt und ihre Wirkung nach Durchlaufen des Programmabschnitts überprüft wird. Bei Fehlerfreiheit können die Anfangsbedingungen als gesetzte Adressen sowie das Ergebnis der Ausgabebefehle gedruckt werden. So ergeben sich Prüftabellen, die es dem Inbetriebnahmeingenieur ersparen, eine logikgerechte Prüftechnologie zu erstellen.

1. Allgemeines

Bei einer programmierbaren Steuerung sollte das Programm bereits im Labor so gründlich getestet werden, daß auf der Baustelle möglichst keine Fehler mehr auftreten. Der Labortest hat aber bei der PS-2000-Technik folgende Nachteile:

— Es ist eine bestimmte Geräteausrüstung erforderlich, d.h. IBG, PS 2000/1 und Taster/Lampenfeld
— jeder zu testende Teilablauf muß erneut manuell in das IBG eingegeben werden
— dabei müssen die für die Anlage projektierten Adressen jeweils so verändert werden, daß sie der Laborausrüstung entsprechen.

Der Labortest ist deshalb nur für häufig verwendete Grundschaltungen oder bei komplizierten Zeitschachtelungen vertretbar und empfehlenswert. Alle übrigen Programmteile können bei Verwendung der dialogorientierten Projektierungshilfen auch auf Rechnern des Typs K 1630 getestet werden, ohne daß besondere Eingaben oder Adreßveränderungen erforderlich sind.

Die dafür bereitgestellte Software arbeitet mit dem ohnehin gespeicherten PS-2000-Programm und simuliert bei jedem Befehl den Ablauf in der PS 2000, d.h.

— bei Ladebefehlen wird der Inhalt der Adressen (Ø oder 1) in den Akkumulator geschrieben
— bei Logikbefehlen wird der Inhalt der Adresse mit dem Inhalt des Akkumulators verknüpft
— bei Transportbefehlen wird der Inhalt des Akkumulators auf die Adresse ausgegeben.

Innerhalb des ausgewählten Programmbereichs werden die Logikbefehle sinngerecht abgearbeitet, alle anderen Fälle werden wie folgt behandelt:

— Pseudobefehle
  HS = FØØ1
  HR = FØØØ

wie in PS 2000, d.h. UND-Verknüpfung bei jedem TEC- bzw. TA-Befehl;

Fehlerausschrift, wenn FØØØ vor FØØ1 erscheint.

— Pseudobefehle
  DS = FØØ3
  DR = FØØ2
  Die zwischen FØØ3 und FØØ2 liegenden Befehle werden einfach übergangen; Fehlerausschrift, wenn FØØ2 vor FØØ3 erscheint.
— Kommentarzeilen sowie die Pseudobefehle
  .CHIPW und .BEGnn
  werden übergangen, haben aber eine Zeilennummer!
— Zeitglieder werden in PS-2000-Programmen mit normalen Logikbefehlen angestoßen und abgefragt. Deshalb ist es dem Simulationsprogramm nicht möglich, im Testbereich enthaltene Zeitglieder zu erkennen oder gar Zeiten nachzubilden, die in der Steuerung hardwaremäßig realisiert sind.
  Bei der Logiksimulation muß die Wirkung von Zeitgliedern durch Setzen der entsprechenden Adressen nachgebildet werden. Es handelt sich also um eine reine Software-Simulation.

Dem Nutzer wird dabei folgender Service geboten:

— Einstellen des zu testenden Programmabschnitts anhand der Befehlsnummer, dabei beliebiger Befehlsbereich einstellbar
— Einstellen der Adressen, die beim Testlauf auf '1' stehen sollen, dabei beliebige Zahl von Eingängen, Zwischenspeichern und Ausgängen einstellbar
— Simulationslauf mit Wertanzeige auf BS, dabei beliebige Zyklenzahl = Zahl Durchläufe einstellbar.

2. Dialogorientierter Simulationslauf

Das zur Logiksimulation benutzte Programm

PS2INT .TSK

wird installiert und aufgerufen. Es meldet sich der Bildschirm und erwartet die Eingabe des Testfilenamens, z.B.

TTn > TEST . AUS CR

Danach erscheint das Anfangsmenü (Bild 1).

Nach Betätigung von ⟨CR⟩ erscheint das Funktionsauswahlmenü (Bild 2).

Von den angebotenen Möglichkeiten wird man zunächst die Funktion 2 wählen, es erscheint das Befehlsauswahlmenü (Bild 3).

Der für die Simulation vorgesehene Befehlsbereich kann nun durch Vorgabe der Zeilennummern für Beginn und Ende definiert werden.

Das zur Logiksimulation verwendete Programmfile darf dabei keine unaufgelösten Makros mehr enthalten. Es kann zur Arbeitserleichterung vorher noch mit dem Programm

SEQDRU.TSK

Dipl.-Ing. *Lothar Holst* ist Gruppenleiter für Grundlagen der Automatisierung und Dipl.-Math. *Klaus Schmutzer* ist Ingenieur für EDV-Vorbereitung im Direktionsbereich Projektierung des VEB Starkstrom-Anlagenbau Leipzig/Halle.

---

ventionellen Maschine etwa halbieren. Wenn es gelingt, Hochtemperatur-Supraleiter als technologisch handhabbare Leiter herzustellen, werden neue Impulse auf die Anwendung dieser Technik bei großen elektrischen Maschinen ausgelöst werden. Wenn sich die wirtschaftliche Leistungsgrenze dadurch wesentlich nach unten verschiebt, ist es durchaus denkbar, daß in zukünftigen Großantrieben Synchronmotoren mit supraleitender Erregerwicklung zum Einsatz kommen und dem Anwender den Vorteil wesentlich geringerer Abmessungen, aber auch höherer Werte des Wirkungsgrads bieten. Die Potenzen der Supraleitung für die Entwicklung großer Synchronmaschinen und die erkannte Bedeutung gerade dieser Maschine für Großantriebe stehen in einer günstigen Relation zueinander.

15. Zusammenfassung

Mit dem vorliegenden Beitrag ist versucht worden, ein Bild der Weiterentwicklung der Antriebstechnik zu entwerfen. Dieser Versuch sollte deutlich gemacht haben, daß elektrische Antriebe vom Produktionsvolumen, von der Stellung im Energiehaushalt und von ihrer Einflußnahme auf viele Bereiche des Reproduktionsprozesses volkswirtschaftliches Gewicht haben und haben werden. Natürlich tritt auch zutage, daß die zukünftige Entwicklung der Antriebstechnik durch eine Vielzahl von Einflußgrößen beherrscht wird. Aus diesen Erkenntnissen muß abgeleitet werden, daß die Erhöhung der Gebrauchswerte elektrischer Antriebe, d.h. ihre technische Vervollkommnung einerseits und die Senkung des Aufwands für ihre Herstellung andererseits, Aufgaben von volkswirtschaftlicher Bedeutung sind.

Literatur

[1] *Müller, G.; Budig, P.-K.:* Die Antriebstechnik an der Schwelle des 21. Jahrhunderts (Kurzfassung). Tagungsmaterial „Ein Jahrhundert industrieller Elektromaschinenbau, 40 Jahre volkseigener Elektromaschinenbau" 1988, Dresden
[2] *Dittrich, W.:* Neue Generation elektrischer Maschinen mit HD-Fluiden. etz 8 (1987), S. 328
[3] *Leitgeb, W.; Musil, R. v.:* Stromrichtergespeiste Drehfeldmaschinen großer Leistung (Übersetzung). Elektrotechnika, Budapest 80 (1987) 3/4, S. 108–112
[4] *Zdenek, D.:* Der gegenwärtige Stand und Perspektiven großer schnellaufender geregelter Wechselstromantriebe im Werk ČKD, Prag (Übersetzung). El. obzor 75 (1986) 8, S. 424–429
[5] *Valka, J.; Shiler, M.:* Der Antrieb moderner Waschautomaten (Übersetzung). Elektrotechnik, Prag 42 (1987) 5, S. 134–138
[6] *Althoff, D. F.:* Integration auch in der Leistungselektronik. Maschinenwelt Elektrotechnik (1986) 3, S. 80–83
[7] Frost and Sullivan: Report on Motor Control and Stepping Motors
[8] *Radin, V.:* Probleme der Entwicklung von Asynchronmotoren und der Optimierung ihres Betriebsverhaltens. Elektromaschinenbau der DDR – Technische Mitteilungen 10 (1989) (in Vorbereitung)

EA 5965

mit Zeilennummern versehen und ausgedruckt werden. Der auszuwählende Bereich ist dann sofort ablesbar. Je höher dieser Bereich im Befehlsraum der PS 2000 liegt, um so länger dauert ein Simulationslauf, da bei sequentiellen Dateien kein direkter Zugriff auf beliebige Bereiche möglich ist. Die langen Suchzeiten vom Dateianfang bis zum gewünschten Bereich können vermieden werden, wenn bei höheren Bereichen mit

Menüfunktion 4 = Erzeugen einer Ausgabedatei

der Testbereich als gesonderte Datei gespeichert wird, die dann natürlich ab Zeile 1 beginnt. Hier ist wieder die Anwendung des Programms SEQDRU zu empfehlen.
Nach Auswahl des Befehlsbereiches und eventuell Funktion 4 muß noch der Inhalt bestimmter Adressen auf 1 oder Ø gestellt werden, um die für den jeweiligen Logiktest erforderliche definierte Ausgangssituation zu schaffen. Das geschieht mit der Funktion 1 und dem Wertemenü (Bild 4). Dann kann der eigentliche Simulationslauf mit Funktion 3 gestartet werden, wobei noch die Anzahl der gewünschten Durchläufe anzugeben ist.
Während der Simulation bzw. Interpretation wird das Ergebnisanzeigemenü gefüllt (Bild 5). Dabei werden bei jedem TA-Befehl die Ausgangsadresse und ihr berechneter Wert (Ø oder 1) angezeigt. Anschließend ist eine wahlweise Fortsetzung mit

W Wertanzeige aller Adressen mit '1'
Z neuer Zyklus mit unveränderten Werten
P Drucken von Prüftabellen (Bild 6)
CR zurück ins Funktionsauswahlmenü

möglich.

3. Zusammenfassung

Im VEB Starkstrom-Anlagenbau Leipzig/Halle wird die programmierbare Steuerung PS 2000 im Umfang von etwa 100 Schrankeinheiten je Jahr eingesetzt. Die Projektierung der Software erfolgt dabei grundsätzlich dialogorientiert am Kleinrechner AKT 6454. Durch die Möglichkeit der Logiksimulation ergeben sich folgende Vorteile:

— aufwandsarmer Logiktest vor Inbetriebnahme
— Vorgabe von Prüftabellen für die Inbetriebnahme
— insgesamt eine Verringerung des Arbeitsaufwandes auf der Baustelle.

```
PS 2000 - INTERPRETER

EINGABEDATEI : TEST.EIN

STUECKWEISE INTERPRETATION EINES PS-2000-QUELL-
TEXTES VON VORGEGEBENEM BEGINN- BIS ENDEBEFEHL
UNTER VORGEGEBENEN EINGANGS- UND AUSGANGSWERTEN.

AUSSERDEM KANN VON DEM QUELLTEXT-TEILSTUECK
EINE SEPARATE DATEI ERZEUGT WERDEN.
```

Bild 1. Anfangsmenü

Bild 2. Funktionsauswahlmenü

```
PS 2000 - INTERPRETER

FUNKTIONSAUSWAHL

        1   WERTANZEIGE / -AENDERUNG
        2   BEGINN- UND ENDEBEFEHLSEINGABE
        3   INTERPRETORZYKLUS
        4   ERZEUGUNG DER AUSGABEDATEI
        5   ENDE DER ABARBEITUNG

      GEWÄHLTE FUNKTION:  2
```

```
PS 2000 - INTERPRETER

GRENZEN DES ZU BEARBEITENDEN TEILSTUECKS
BEGINNBEFEHLSNUMMER:  Ø125
ENDEBEFEHLSNUMMER  :  Ø232
```

Bild 3. Befehlsmenü

```
PS 2000 - INTERPRETER

ANZEIGE DER EINGANGS-/AUSGANGSWERTE  UND KORREKTUR
  ADRESSE  WERT   ADRESSE  WERT   ADRESSE  WERT
    EØØ1     1      E3Ø2     Ø
    EØ2Ø     1      E3Ø3     1
    EØ21     1      A3Ø2     1
    EØ22     Ø      A3Ø3     Ø
    A221     1
    A222     Ø
    E3Ø1     1
```

Bild 4. Wertemenü

```
PS 2000 - INTERPRETER

    INTERPRETORLAUF VON:     BIS:          LFD. BEFEHL:
                    ERGEBNISSE DER TA-BEFEHLE
 STMT ADRESSE WERT   STMT ADRESSE WERT   STMT ADRESSE WERT
  133   A2ØØ    1     199   A522    Ø
  145   A2Ø2    1     2Ø6   A3Ø2    Ø
  152   A251    1     21Ø   A3Ø3    1
  167   A46Ø    Ø     218   A7Ø1    1
  174   A461    1     224   A7Ø2    Ø
  182   A7Ø1    Ø     232   A7Ø3    1
  186   A7Ø2    1
  192   A521    1

 WERTANZEIGE: W, ZYKLUS: Z, PRUEFTABELLE: P, ENDE:   CR
```

Bild 5. Anzeigemenü

```
PS 2000 - INTERPRETER

PROJEKT      :     TEST
WA-NR.       :     4711
PS-NR.       :     01
BEFEHLSNR. VON:  125  BIS:  232
```

Bild 6. Listenkopfmenü für Prüftabellen

Da der Projektant mit der Logiksimulation eine gute Kontrolle über den Ablauf des SPS-Programms gewinnt, wird diese CAD-Software durchgängig genutzt.

Literatur

[1] *Brückner, W.; Breiter, T.; Holst, L.:* Dialogorientiertes Programmsystem für PS-2000-Steuerungen. ELEKTRIE, Berlin 41 (1987) 8, S. 291–294

EA 5797

CAD-Baustein numerische Feldberechnung für elektrotechnische Erzeugnisse

W. Kunze, KDT; H. Kuß, KDT; A. Binner, KDT; Dresden

1. CAD-Bausteine in den produktionsvorbereitenden Bereichen

Die effektive Gestaltung der produktionsvorbereitenden Prozesse und der rechnergestützten Ingenieurarbeit wird durch zunehmend sich verschärfende Wettbewerbsbedingungen und damit hohe Erneuerungsraten, schnelle Reaktion auf Veränderung der Marktlage und hohe Auftragsflexibilität erforderlich.

Die Perspektive der Produktionsautomatisierung eröffnet und erfordert Schritte zum rechnerintegrierten Betrieb. Sie erfassen den gesamten Reproduktionsprozeß von der Leitung, Planung, Bilanzierung, über die Forschung, den Entwurf und die Konstruktion neuer Erzeugnisse, die technologische Vorbereitung zur automatischen Herstellung und die integrierte Fertigung bis zur Lagerhaltung, zum Versand und zur Marktpräsentation.

Im Maschinenbau und bei der Produktion elektrotechnischer Erzeugnisse sind bei der Produktionsvorbereitung mit durchweg rechnergestützter Ingenieurarbeit in Projektierung und Konstruktion Produktivitätssteigerungen bis zum Fünffachen möglich. Der rechnergestützte Entwurf ermöglicht außerdem trotz Verkürzung der Entwicklungszeit und -kosten die Auslotung möglichst aller Alternativlösungen.

Eine wesentliche Produktivitätssteigerung beim Endprodukt ist aber nur dann erreichbar, wenn Werkstoffparameter, Konstruktion, Technologie und Organisation der Produktion sowie die Qualifikation aller Beteiligten gleichermaßen entwickelt werden. Bei diesen durchgängig rechnerintegrierten Prozessen kommt neben der funktionsgerechten auch der fertigungsgerechten Gestaltung der Erzeugnisse wesentliche Bedeutung zu.

Die bisherigen Erfahrungen von Entwicklungsingenieuren und Konstrukteuren sind von den Konstruktionswissenschaften verallgemeinert worden und umfassen Prinzipien, Methoden, Standards, Normen und Hilfsmittel, die seit Jahrzehnten genutzt werden.

Die heute sehr schnelle Entwicklung, der massenweise Einsatz von Rechentechnik und die Arbeit an unterschiedlicher Hardware sowie der hohe Aufwand an notwendiger Software zwingen zu einer Systematisierung der Arbeitsweise, zur Einbeziehung bewährter Methoden und Hilfsmittel sowie zu deren schrittweisen Ergänzung mit neuen leistungsfähigeren Hilfsmitteln. In diesem, im Maschinenbau zwangsläufig sehr schnell ablaufenden Prozeß der Umgestaltung der Ingenieurarbeit sind die Arbeitsphasen des Entwicklungs- und Berechnungsingenieurs elektrotechnischer Erzeugnisse zielgerichtet einzuordnen und entsprechende CAD-Bausteine einzugliedern.

Ein wesentliches Element sind hierbei Entwurf und Berechnung der elektromagnetischen Kreise mit immer weiter integrierten Nachfolgeproblemen, z.B. Verlusten und Temperaturen, Kräften, luftspaltfeldharmonischen, mechanischen Beanspruchungen sowie konstruktiv-technologischer Detailgestaltung.

Die herkömmliche Ingenieurarbeit lief ohne Netzwerkmethoden oder numerische Feldberechnung ab, und auch heute noch werden zahlreiche elektrotechnische Erzeugnisse ohne diese leistungsfähigeren Hilfsmittel entworfen und gefertigt.

Hierbei werden Entwurfs- und Nachrechenprogramme mit klassischer Magnetfeldberechnung genutzt. Darunter sollen Verfahren mit Haupt- u.a. Integrationswegen zusammengefaßt werden, längs derer der magnetische Kreis in idealisierte, auch geometrisch leicht berechenbare Feldabschnitte zerlegt wird, mit zusätzlich eingeführten Korrekturfaktoren für die Auswirkung der Vereinfachungen und der Ströme in weiteren Wicklungen. Dieser Berechnungsprozeß wurde in den vergangenen Jahren auch rechnergestützt aufbereitet. Der Erfolg dieser Methode gründet sich auf langjährige Erfahrung und auf die Gewinnung geeigneter Korrekturfaktoren aus der experimentellen Überprüfung der gefertigten Erzeugnisse, muß aber damit auf den Erfahrungsbereich beschränkt werden.

Die Ableitung magnetischer Ersatzschaltbilder und ihre Aufbereitung auf Großrechnern (Bild 1) sowie vor allem die Anwendung der Netzwerkanalyse auf Personalcomputern brachte wesentliche Verbesserungen bei Beherrschung der Magnetkreisprobleme im Entwurfs- und Berechnungsprozeß [1]. Auch bei dieser Methode müssen Feld- und Korrekturfaktoren angewendet werden. Vorteil ist ein gegenüber der numerischen Feldberechnung geringerer Aufwand, der die Anwendung dieser Methode für Vielzahlvarianten- und Optimierungsrechnungen empfiehlt.

Alle bisher genannten Verfahren erfordern die Kenntnis des prinzipiellen Feldverlaufs, während die numerische Feldberechnung auf der Basis der Methode finiter Elemente (MFE) und finiter Differenzen (MFD) sowie der Integralgleichungsmethoden das nicht voraussetzt und bei Kenntnis der geometrischen und Werkstoffparameter theoretisch eine nur vom Aufwand abhängige Genauigkeit erzielt (Bild 2).

Bild 2. Numerische Methoden zur Feldberechnung

Verfahren	*Charakterisierung*	*Anwendung*
Integralgleichungs-methoden *IGM* *Boundary Element Method* *BEM*	*Vektorfeld zerlegt in Quellen- und Wirbelfeld,* *Integralgleichung aus H- und φ_m-Verteilung auf Rand, Diskretisierung des Randes in Elemente*	*Zwei- (Drei-) dimensionale Probleme* *Eng begrenzte Gebiete mit* *μ = const. oder* *G = const.*
Methode finiter Elemente *MFE*	*Diskretisierung des gesamten Gebiets in Elemente, Wahl eines (Energie-) Funktionals, Minimierung der Funktionale der Elemente*	*Für abgegrenzte Feldgebiete* *Für lineare und stark nicht-lineare Feldprobleme* *Für elektromagnetische Wärmefelder, mechanische Felder*
Methode finiter Differenzen *MFD*	*Diskretisierung des gesamten Feldgebiets in regelmäßige Gitterelemente, Überführen der Differential- (Integral-) Gleichung in Differenzengleichungen*	*Für abgegrenzte Feldgebiete mit Radial- oder Rechteck-Struktur* *Für lineare und nichtlineare elektromagnetische Felder*

Dr. sc. techn. *Werner Kunze* ist Hochschuldozent. Dr. sc. techn. *Hans Kuß*, Dipl.-Ing. *Andreas Binner* sind wissenschaftliche Assistenten an der TU Dresden, Sektion Elektr otechnik.

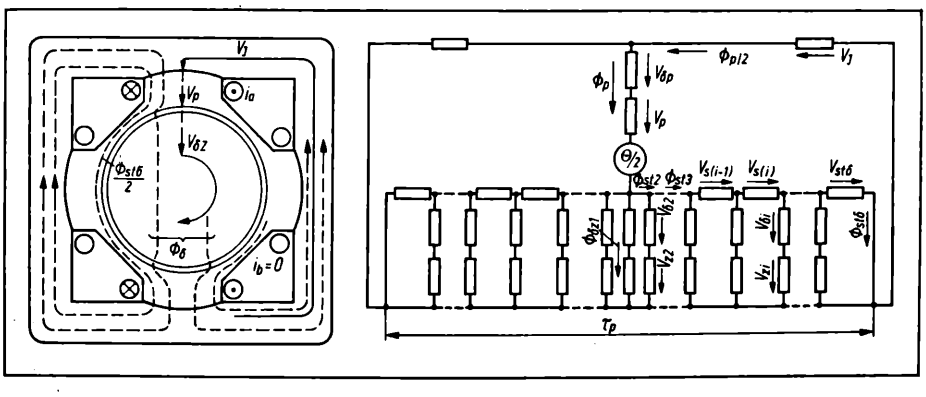


Bild 1. Magnetisches Ersatzschaltbild

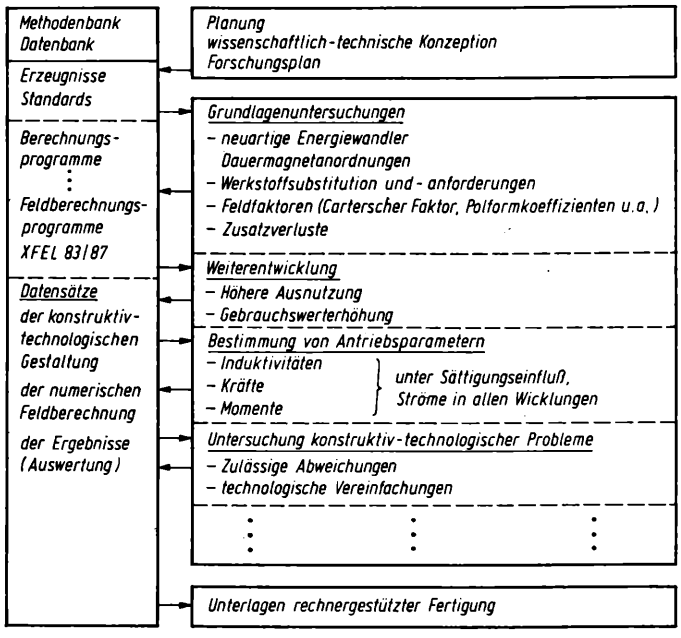


Bild 3. Schnittstellen numerischer Magnetfeldberechnung

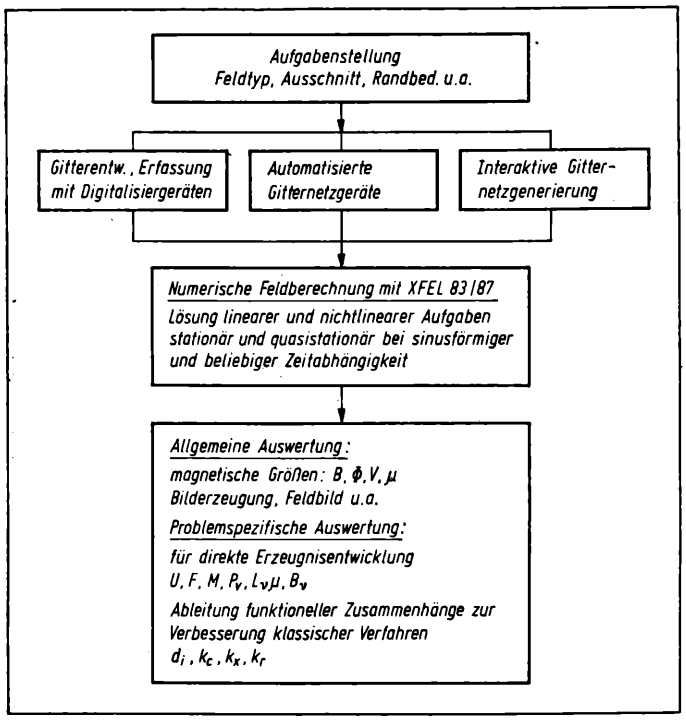


Bild 4. Programmsystem XFEL 83/87

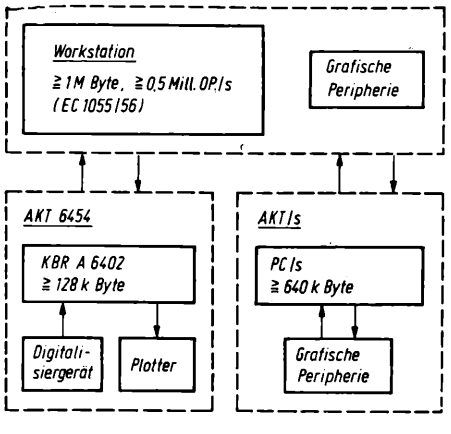


Bild 5
Hardwarekombinationen

Von diesen numerischen Berechnungsmethoden elektromagnetischer Felder wird vorwiegend die MFE für Erzeugnisse mit

— geometrisch kompliziert verlaufenden Grenzflächen zu ferromagnetischen Gebieten starker Nichtlinearität und

— geometrisch komplizierten Stromgebieten unterschiedlicher Stromdichte

angewendet, nicht zuletzt deshalb, weil bei anderen physikalischen Feldern fast ausschließlich diese Methode benutzt und ihre Lösungsverfahren daher auch von der Mathematik vorrangig weiterentwickelt werden. Durch unterschiedliche Elementformen und -größen ermöglicht sie außerdem eine gute problemanpaßbare Diskretisierung und rechenökonomisch günstige Lösung der Feldprobleme.

Die Berechnung solcher unterschiedlicher physikalischer Felder — elektromagnetischer, Wärme- und mechanischer Felder — mit einem Programmsystem wäre prinzipiell möglich. Da aber Probleme durch unterschiedliche Stellung des Lösungsvektors und verschiedenartige Feldabhängigkeit der Werkstoffparameter auftreten, werden meist eigenständige Programmsysteme bzw. selbständige Programmodule eines umfassenden Programmsystems entwickelt [2] [3].

2. Schnittstellen für die numerische Feldberechnung

Mit der Entwicklung von Datenbanken und durchgängigen Informationsabläufen in den Fertigungsbetrieben sind geeignete Schnittstellen zu finden, die es dem Ingenieur problemlos ermöglichen, die der jeweiligen Arbeitsphase leistungsangepaßten und deshalb z.T. auch aufwendigeren, evtl. auf gekoppelter leistungsfähigerer Hardware implementierten Hilfsmittel, aufzurufen und in den Entwicklungsprozeß einzugliedern.

Unabdingbarer Bestandteil der Ingenieurarbeit an dieser Stelle ist eine exakte Problemanalyse, mit Untersuchung der Modelltreue der numerischen Feldberechnung, des erforderlichen Rechenaufwands und der Rechengenauigkeit sowie der Auswertungsqualität vor der Arbeit mit den Programmsystemen, d.h. vor dem Preprocessing, dem Processing und dem Postprocessing, da diese Vorarbeiten wesentlich den Erfolg der Gesamtarbeit beeinflussen.

Bild 3 zeigt Schnittstellen für die Einbeziehung der numerischen Feldberechnung in den durchgängigen konstruktiv-technologischen Prozeß, in dem die Feldberechnung unterschiedliche Aufgaben hat und demzufolge mehrfach beim gleichen Erzeugnis angewendet werden kann. Die Auswertung erfolgt problemorientiert.

Auf den engen Zusammenhang zwischen den Methoden zur Erzeugung der konstruktiv-technologischen Daten und der Datensatzgenerierung für die numerische Feldberechnung mit interaktiven grafischen Systemen mit hohem Freiheitsgrad für den Konturenentwurf und zur Diskretisierung sei besonders hingewiesen.

Aus Bild 3 sind neben erforderlichen Auswertungsaufgaben auch Ansprüche hinsichtlich Grob- und Feinentwurf, für Gesamt- und Ausschnittsfeldberechnung zu erkennen, die zu den funktionellen, operationellen und Qualitätsanforderungen für Programmsysteme zur numerischen Berechnung physikalischer Felder führen.

Da die problemorientierte Auswertung für eine Vielzahl von Zielgrößen nicht von vornherein vollständig erfaßt werden kann, wird dem Nutzer durch die Modulstruktur und durch exakt definierte Schnittstellen die Möglichkeit eingeräumt, das Programmsystem durch eigene Auswertungssoftware problemangepaßt zu ergänzen.

3. Feldberechnung mit dem Programmsystem XFEL 83/87

Für die zweidimensionale numerische Berechnung des elektromagnetischen Feldes in komplizierten Magnetkreisen elektrotechnischer Erzeugnisse mit einer technisch benötigten Genauigkeit wurde das Programmsystem XFEL 83/87 entwickelt [4] und in den letzten Jahren weiter ergänzt [2]. Es basiert auf der MFE. Für die Vernetzung des zu untersuchenden Feldgebietes sind Dreieckelemente 1. Ordnung (lineare Ansatzfunktion) vorgesehen. Der zu bearbeitende Problemkreis ist im Bild 4 dargestellt.

Die durchgehende Modulstruktur ermöglicht eine relativ günstige Anpassung an die Leistungsparameter unterschiedlicher Hardware (Bild 5).

Für das Preprocessing genügen meist bereits 16-bit-Personalcomputer (PC/S) bzw. Arbeitsplatzrechner (AKT). Die erstellten Datensätze werden in einer Datenbank abgelegt und stehen für die numerische Feldberechnung an unterschiedlichen Rechnern zur Verfügung.

Für die Lösung des nichtlinearen algebraischen Gleichungssystems haben sich direkte Methoden in Verbindung mit dem Newton-Raphson-Verfahren bewährt.

Zur Berechnung nichtlinearer Feldprobleme mit bis zu 2000 Gitterelementen genügt beim XFEL 83/87 bereits ein leistungsfähiger 16-bit-PC.

Die Rechenzeit beträgt in diesen Fällen oft 30 min und mehr. Auf-

gaben mit größeren Gitternetzen und gezielte Variantenrechnungen werden daher zweckmäßig auf einer Workstation gelöst. Die Auswertung der berechneten Vektorpotentialverteilung kann hierbei außer auf der Workstation wahlweise auch an einem PC bzw. AKT am Arbeitsplatz erfolgen.
Die Anwendung des Programmsystems bei unterschiedlichen elektrotechnischen Erzeugnissen sollen die Beispiele in den Bildern 6 und 7 veranschaulichen.
Diese Feldberechnungen erfolgten bei gezielten Variantenrechnungen zur Ermittlung des Einflusses technologisch bedingter Magnetkreisabmessungen auf die Feldausbildung sowie bei Untersuchungen zur Verringerung der Zusatzverluste in den inaktiven Bauteilen von Transformatoren.

4. Auswertung der Vektorpotentialverteilung

Als Ergebnis der numerischen Feldberechnung liegt die Lösung des diskretisierten Problems vor, d.h. eine Näherung für die Vektorpotentiale in den Knotenpunkten. Sowohl diese Potentiale als auch die daraus abgeleiteten magnetischen Induktionen sind mit einem Diskretisierungsfehler behaftet.
Bei den verwendeten Dreieckelementen 1. Ordnung können den Verbindungslinien zwischen den Knotenpunkten die Induktionskomponenten zugeordnet werden, die senkrecht auf diesen Linien stehen (Bild 8). Das bedeutet, daß verschiedene Induktionskomponenten an unterschiedlichen Stellen im Element ermittelt werden. Diese Erscheinungsform des Diskretisierungsfehlers soll als Lokalisierungsfehler bezeichnet werden.
Darüber hinaus kann für das Element eine resultierende Induktion ermittelt werden, die i.allg. dem Schwerpunkt zugeordnet wird.
Im folgenden werden einige Beispiele für die Auswertung der numerisch berechneten Vektorpotentialverteilung vorgestellt.

• Kräfte und Drehmomente

Nach der Maxwellschen Theorie befindet sich jeder von einem Magnetfeld durchsetzte Raum in einem mechanischen Spannungszustand. Die Kraftdichte ergibt sich nach der Methode der virtuellen Verschiebung zu

$$\vec{f} = \text{grad} \cdot w_{\text{magn}} . \tag{1}$$

Nach Einsetzen der Energiedichte und vektoranalytischer Umformung erhält man

$$\vec{f} = \vec{G} \times \vec{B} + 1/2\, B^2 \,\text{grad}\, \nu \tag{2}$$

und daraus durch Integration die Gesamtkraft auf ein Gebiet

$$\vec{F} = \int_{\Omega} \vec{f}\, \mathrm{d}\Omega . \tag{3}$$

Der 2. Term in (2), der die Grenzflächenkräfte beschreibt, liefert in elektrischen Maschinen die Hauptkomponente der Umfangskraft.
Bei Diskretisierungselementen mit linearem Potentialansatz ist die Anwendung von (2) ungünstig, da B und ν im Element konstant sind und sich an den Elementgrenzen sprunghaft ändern. Günstiger ist es, (3) in ein Hüllflächenintegral zu überführen [5]:

$$\vec{F} = \oint_{\Gamma} \tau \, \mathrm{d}\vec{\Gamma} = \oint_{\Gamma} \vec{T}\, \mathrm{d}\Gamma \tag{4}$$

mit

$$\vec{f} = \text{div}\, \tau , \quad \vec{T} = \tau \cdot \vec{n} .$$

Dabei bezeichnet τ den Maxwellschen Spannungstensor und $\vec{T}$ stellt den zugehörigen Spannungsvektor dar. Für das 2-dimensionale Feld ergibt sich

$$\tau = \begin{bmatrix} \nu/2\,(B_x^2 - B_y^2) & \nu\, B_x\, B_y \\ \nu\, B_x\, B_y & \nu/2\,(B_y^2 - B_x^2) \end{bmatrix} \tag{5}$$

und folglich

$$T_x = \nu/2\,(B_x^2 - B_y^2)\cos\alpha + \nu\, B_x\, B_y \sin\alpha,$$

$$T_y = \nu\, B_x\, B_y \cos\alpha + \nu/2\,(B_y^2 - B_x^2)\sin\alpha, \tag{6}$$

wobei α der Winkel zwischen der x-Achse und der Flächennormale der Hüllfläche ist. Bei Auswertung von (4) gibt es zwei verschiedene Möglichkeiten.
Grenzflächenkräfte erhält man durch Einführung einer unendlich dünnen Hüllfläche um die Grenzfläche (Bild 9):

$$\vec{F}_G = \int_{\Gamma_G} \Delta\vec{T}\, \mathrm{d}\Gamma , \tag{7}$$

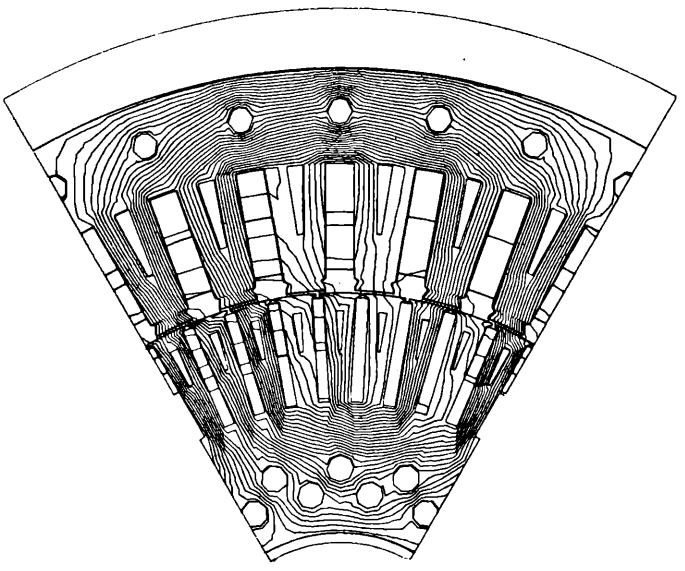


Bild 6. Feld einer Asynchronmaschine

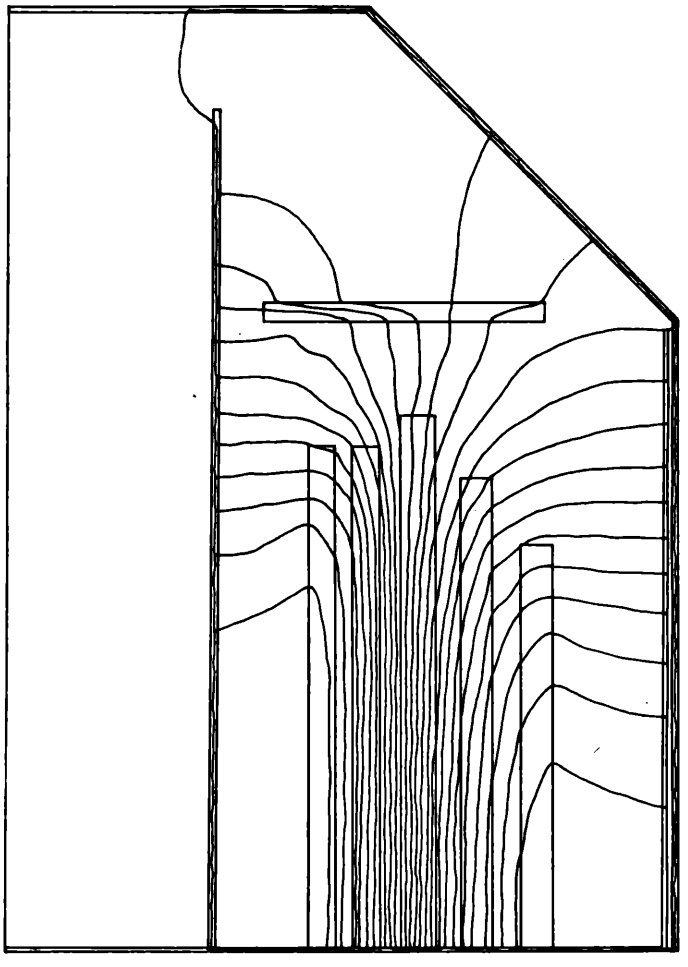


Bild 7. Streufeld eines Transformators

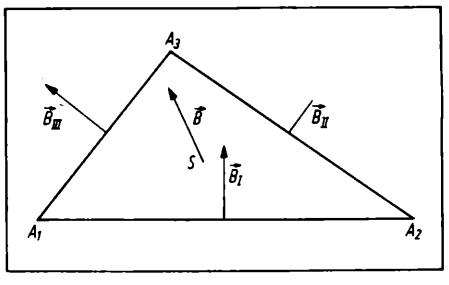


Bild 8
Induktionskomponenten im linearen Dreieckselement

$$\Delta\vec{T} = \frac{\mathrm{d}\vec{F}}{\mathrm{d}\Gamma} = \frac{1}{S} \oint_{\Gamma} \vec{T}\, \mathrm{d}\Gamma = \vec{T}_2 - \vec{T}_1 . \tag{8}$$

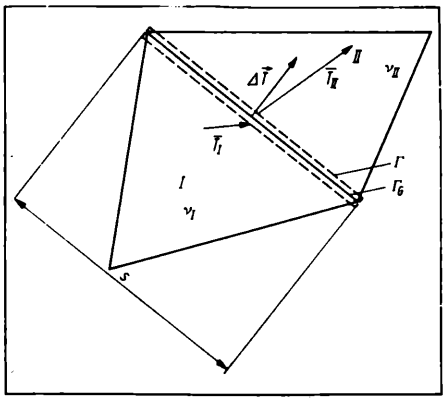


Bild 9. Ermittlung von Grenzflächenkräften

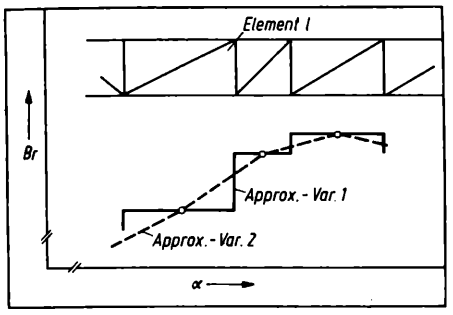


Bild 11. Approximation der Funktion $B(\alpha)$ für näherungsweise Integration

Grenzflächen im Sinne dieser Methode sind alle Grenzen zwischen Elementen mit unterschiedlichen Reluktivitäten, d.h., auch in unterschiedlich gesättigten Eisengebieten können Kräfte ermittelt werden.

Zur Berechnung resultierender Kräfte auf größere Bereiche muß eine Hüllfläche so um das Gebiet gelegt werden, daß sie nicht mit Elementgrenzen zusammenfällt. Dann können (4) und (6) direkt angewandt werden, und man erhält die Kraft auf das eingeschlossene Gebiet, jedoch keine Information über die Angriffspunkte der Kraft.

Diese Methode läßt sich zur Berechnung des resultierenden Drehmoments in elektrischen Maschinen vorteilhaft anwenden. Dazu wird eine Hüllfläche mit konstantem Radius R in den Luftspalt gelegt. Das Moment ergibt sich dann zu

$$M = l \cdot R \cdot \frac{1}{\mu_0} \oint_\Gamma B_r \cdot B_t \, \mathrm{d}\Gamma. \tag{9}$$

Der oben beschriebene Lokalisierungsfehler macht sich hier in einer Abhängigkeit vom Hüllflächenradius bemerkbar, da Tangential- und Radialkomponente der Induktion an unterschiedlichen Stellen im Gitter berechnet werden.

Für eine vierpolige Gleichstrommaschine wurde bei Nennbetrieb für verschiedene Werte von R das Drehmoment nach der Hüllflächenmethode berechnet und im Bild 10 dargestellt. Die starke, physikalisch nicht begründete Änderung beweist, daß die Diskretisierung — mit einer Elementreihe im Luftspalt — für eine willkürliche Wahl von R nicht fein genug ist.

Der Vergleich mit dem Meßwert zeigt, daß der Fehler in Luftspaltmitte am geringsten ist. Das ist folgerichtig, da in der Nähe der Elementschwerpunkte der Diskretisierungsfehler minimal ist.

Der gleiche Sachverhalt konnte bei der Berechnung des Moments von Asynchronmaschinen und Schrittmotoren festgestellt werden.

• Harmonische der Feldkurve

Bei elektrischen Maschinen interessiert die Fourieranalyse der

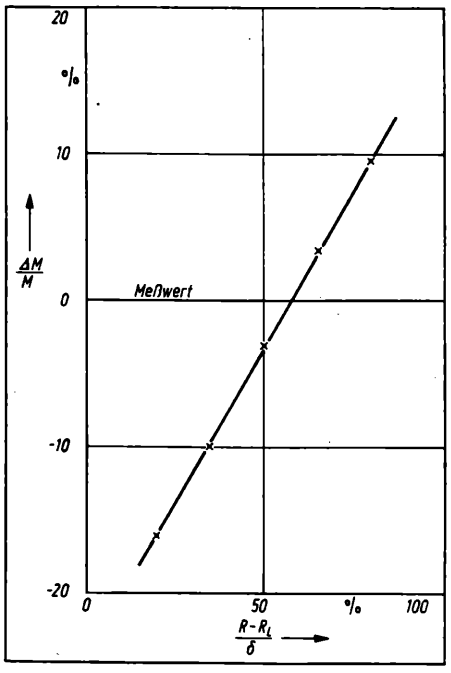


Bild 10
Drehmoment in Abhängigkeit vom Hüllflächenradius

Luftspaltfeldkurve, d.h., es sind die Koeffizienten für die Darstellung der Feldkurve durch eine trigonometrische Summe

$$B(\alpha) = \frac{a_0}{2} + \sum_{\nu=1}^{n} \left\{ a_\nu \cos\left(\frac{\nu\pi}{\tau_p}\alpha\right) + b_\nu \sin\left(\frac{\nu\pi}{\tau_p}\alpha\right) \right\} \tag{10}$$

zu bestimmen.

Die angenäherte Berechnung der Koeffizienten a_ν und b_ν mit Standardprogrammen setzt voraus, daß für $B(\alpha)$ äquidistante Funktionswerte bekannt sind. Zur Verfügung stehen jedoch nur die aus der numerisch berechneten Vektorpotentialverteilung ermittelten Komponenten der Induktion in den Dreieckselementen.

Im allgemeinen Fall haben die Dreieckselemente unterschiedliche geometrische Abmessungen. Die Anwendung der Standardprogramme erfordert daher zunächst eine Approximation des Feldkurvenverlaufs an Hand dieser Funktionswerte und die Bestimmung neuer äquidistanter Stützstellen für $B(\alpha)$. Hierbei können erhebliche Fehler auftreten.

Sollen deshalb die aus der numerischen Feldberechnung ermittelten Induktionswerte unmittelbar verwendet werden, sind die Integrale für

$$a_\nu = \frac{1}{\tau_p} \int_0^{2\tau_p} B(\alpha) \cos\left(\frac{\nu\pi}{\tau_p}\alpha\right) \mathrm{d}\alpha, \tag{11}$$

$$b_\nu = \frac{1}{\tau_p} \int_0^{2\tau_p} B(\alpha) \sin\left(\frac{\nu\pi}{\tau_p}\alpha\right) \mathrm{d}\alpha, \tag{12}$$

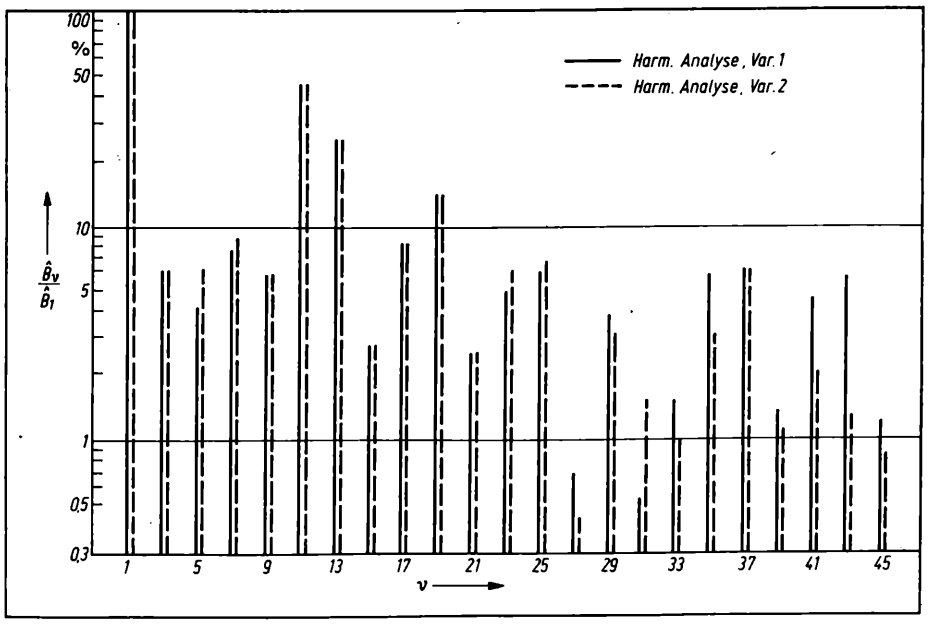


Bild 12. Harmonische der Feldkurve der Asynchronmaschine nach Bild 6

unter Beachtung der ungleichen Stützstellenweite näherungsweise zu lösen. Bei der Ausführung der Integration wird der Verlauf der Funktion $B(\alpha)$ zwischen den Stützstellen durch die im Bild 11 dargestellten Varianten 1 und 2 genähert.

Im Bild 12 sind als Beispiel die Ergebnisse der Analyse Feldkurve der Asynchronmaschine bei Nennlast nach Bild 6 angegeben. Die Analyse erfolgt mit 47 Stützstellen je Polteilung und nach Gitterverfeinerung mit 94 Stützstellen für beide Näherungsvarianten.

An einer Vielzahl durchgeführter Fourieranalysen lassen sich folgende Schlußfolgerungen ableiten:

— Die Amplitude der Grundwelle wird mit Variante 2 geringfügig kleiner als mit Variante 1 bestimmt. Bei Gitterverfeinerung und damit Erhöhung der Stützstellenzahl vergrößert sich die Amplitude nach Variante 2 und es tritt eine Angleichung der Amplitudenwerte ein.

— Für die Auswertung sind die Ergebnisse der Analyse nach Variante 1 heranzuziehen. Die Übereinstimmung der Ergebnisse der harmonischen Analyse nach beiden Varianten insbesondere bei den höheren Harmonischen kann zur Beurteilung der Güte der Analyse bzw. des Gitternetzes herangezogen werden.

• Ableitung allgemeiner Zusammenhänge

Ein Nachteil der numerischen Feldberechnung gegenüber analytischen Verfahren besteht darin, daß Parametereinflüsse aus dem Ergebnis nicht direkt ablesbar sind. Sollen trotzdem bestimmte Zusammenhänge verallgemeinert werden, so sind Variantenrechnungen notwendig. Als Beispiel soll hier die Untersuchung des Carterschen Faktors unter Berücksichtigung des Eisenspannungsabfalls betrachtet werden.

Der Cartersche Faktor ist als Verhältnis von maximaler zu mittlerer Luftspaltinduktion über der Nutteilung definiert und berechnet sich zu

$$K_c = \frac{\tau_n}{\tau_n - \gamma\, b_s}. \tag{13}$$

Unter Vernachlässigung des Eisenspannungsabfalls kann der Hilfsfaktor mit Hilfe konformer Abbildung bestimmt und in guter Näherung durch

$$\gamma = \frac{1}{1 + 5\,\sigma/b_s} \tag{14}$$

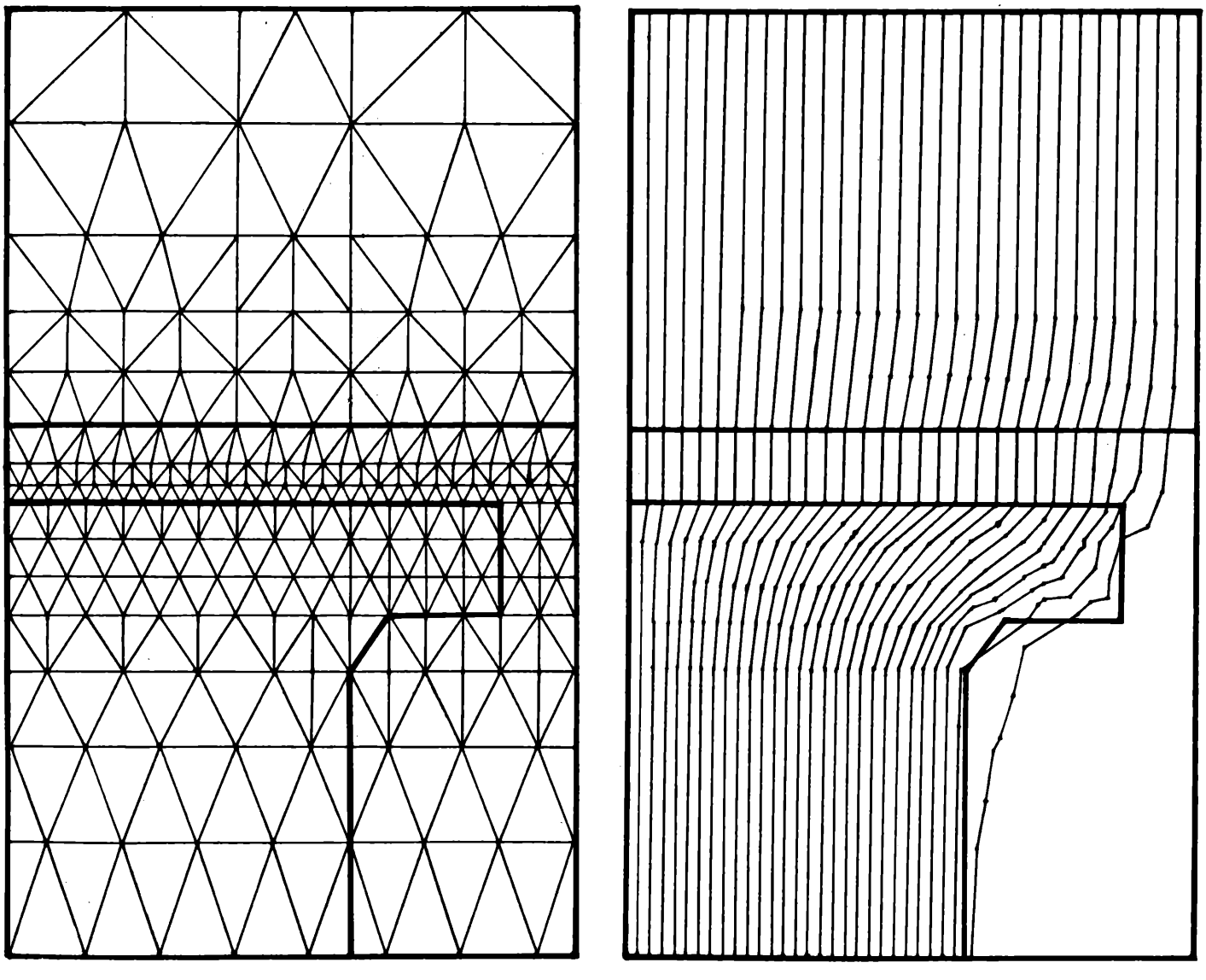
beschrieben werden.

Um den Einfluß des Eisenspannungsabfalls zu untersuchen, wurde das Zahnkopfgebiet einer halbgeschlossenen Nut mit Hilfe numerischer Feldberechnung untersucht (Bild 13). Die Vernetzung wurde so vorgenommen, daß die Variierung des Luftspalts und der Nutschlitzbreite durch Änderung der Materialkennziffern in den Elementen erfolgen konnte. An den Seiten der Anordnung wurden Randbedingungen 1. Art, links $A = 0$ und rechts $A = A_0$ vorgegeben. Über A_0 wurde entsprechend

$$B_m = \frac{A_0}{b} \tag{15}$$

der Mittelwert der Induktion über der Nutteilung vorgegeben und variiert. Am unteren und oberen Rand wurde senkrechter Feldliniendurchtritt angenommen. Das Ergebnis (Bild 14) zeigt, daß bei hohen Werten der Luftspaltinduktion k_c und damit der magnetische Spannungsabfall im Luftspalt der Maschine ansteigt. Durch Variation des Luftspalts erhält man eine Kurvenschar, auf die bei Untersuchung konkreter Maschinen zurückgegriffen werden kann. Analoge Kurven wurden für offene und geschlossene Nuten berechnet.

Bild 13. Modell zur Berechnung des Carterschen Faktors. a) Gitternetz; b) Feldbild



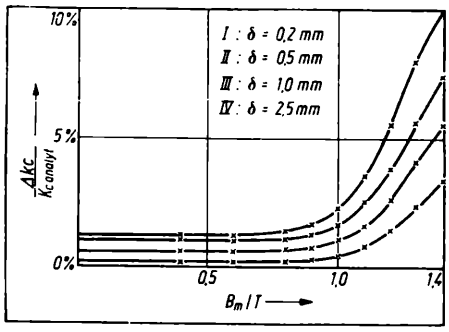


Bild 14
Verlauf des Carterschen Faktors in Abhängigkeit von der Luftspaltinduktion

systems XFEL 83/87 für 2-dimensionale elektromagnetische Felder wird die Anpassung an unterschiedliche Hardware, werden Preprocessing und Postprocessing und außerdem der Leistungsumfang an Berechnungsbeispielen aufgezeigt. Besonders wird der problemangepaßte Auswerteprozeß untersucht, bei dem der Anwender durch geeignete Schnittstellen auch eigene Auswertemodule beisteuern kann. Probleme und Ergebnisse der Auswertung der Vektorpotentialverteilung hinsichtlich Kräften, Drehmomenten und Harmonische der Feldkurve weisen die Notwendigkeit sorgfältiger physikalisch-mathematischer Problemanalyse nach. Am Beispiel des Carterschen Faktors wird der Einsatz numerischer Feldberechnung zur Gewinnung allgemeiner Zusammenhänge gezeigt.

5. Zusammenfassung

Die numerische Feldberechnung besonders auf der Basis der MFE wird als CAD-Baustein im konstruktiv-technologischen Entwicklungsprozeß elektrotechnischer Erzeugnisse immer dann angewendet, wenn die klassischen Berechnungsverfahren und die Netzwerkanalyse ihre Einsatzgrenzen erreichen.
Mit Lösungsansätzen auch für die an das elektromagnetische Feld angrenzenden mechanischen und Wärmefeldprobleme ist sie ein sehr leistungsfähiges Hilfsmittel für die rechnergestützte Arbeit des Ingenieurs auch in durchgängig strukturierten Informationsabläufen der Produktionsvorbereitung. Am Beispiel des Programm-

Literatur

[1] *Fischer, S.; Münch, U.; Pauug, E.; Schubert, P.; Vogt, K.; Witt, D.:* Anwendung der Netzwerkanalyse auf dem Gebiet elektrischer Maschinen. ELEKTRIE, Berlin 41 (1987) 10, S. 395
[2] *Kunze, W.; Kuß, H.; Binner, A.; Körting, R.:* Zielgerichtete Weiterentwicklung und Anwendung der numerischen Feldberechnung bei elektrischen Maschinen. ELEKTRIE, Berlin 41 (1987) 10, S. 365
[3] *Kuß, H.; Sabinski, J.:* Temperaturfeldberechnung zur Optimierung von Kühlkanälen elektrischer Maschinen. ELEKTRIE, Berlin 41 (1987) 10, S. 370
[4] *Kuß, H.:* Rechenprogramm nach der Methode der finiten Elemente mit Anwendung des Newton-Raphson-Verfahrens. ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 7, S. 265
[5] *Weiss, A. v.; Kleinwächter, H.:* Übersicht über die theoretische Elektrotechnik, 2. Teil. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Porting 1961

EA 5956

Fachschullehrbuch und Nachschlagewerk. Lieferbar in zweiter, durchgesehener Auflage. Im Fachbuchhandel erhältlich

Ausgehend von den Aufgaben der Elektroenergienetze, den an sie gestellten Forderungen, werden behandelt:
- Elemente und Baugruppen zur Übertragung und Verteilung der Elektroenergie (Transformatoren, Starkstromkabel und -leitungen)
- Strombelastbarkeit und Schutz der Starkstromkabel und -leitungen gegen zu hohe Erwärmung
- Spannungsbeanspruchung und Isolationsbemessung (Grundlagen · Spannungsverteilung an Bauteilen · Überspannungen in elektrotechnischen Anlagen · Erzeugung und Messung hoher Spannungen)
- Arten der Elektroenergienetze (Grundsätzliches zur Gestaltung der Elektroenergienetze · Strahlennetze · Ringnetze · Maschennetze · Technisch-ökonomische Betrachtungen zur Spannungsstufung und zur Wahl der Netzart)
- Grundlagen zur Berechnung der Elektroenergienetze (Spannungsänderung und Verluste bei der Übertragung und Verteilung der Elektroenergie · Strom-Spannungs-Verhalten der Elektroenergienetze)
- Berechnung der Elektroenergienetze für den Normalbetrieb (Berechnung von Gleichstrom-, Wechselstrom-, Drehstrom- und vermaschten Netzen · Berechnung eines Übertragungssystems)
- Fehler und Störungen in Elektroenergienetzen (Fehlerarten · Symmetrische Komponenten als Methode zur Berechnung der Ströme und Spannungen bei unsymmetrischen Fehlern · Erdschlüsse · Kurzschlüsse)
- Grundlagen zur Gestaltung und Bemessung von Freileitungen (Trassierung · Mechanische Bemessung).

Von Doz. Dipl.-Ing. Winfried Benser u.a.
352 Seiten, 294 Bilder, 49 Tafeln, Kunstleder, DDR 26,– M, Ausland 36,– DM. Bestellangaben: 5533230/Benser, Elektro

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

cigré – 32. Session

Die 32. Session der CIGRE fand in der Woche vom 28. August bis 3. September 1988 statt. Erstmals wurde dieser Weltkongreß „der Elektroenergie-Übertragungstechnik" im Palais des Congrès de Paris durchgeführt. Die vorzüglichen Kongreß-Bedingungen, insbesondere die vielfältigen Räumlichkeiten ermöglichten es, das Gesamtprogramm der 32. Session der CIGRE innerhalb einer Woche zu bewältigen. In diesem Jahr beteiligten sich über 2500 Ingenieure und Wissenschaftler aus mehr als 70 Ländern aller Kontinente an diesem weltweiten Erfahrungsaustausch zu dem für alle Volkswirtschaften bedeutungsvollem Gebiet der Elektroenergie-Übertragungstechnik. Die wiederum ausgezeichnete Organisation durch das Generalsekretariat und die vorzügliche Gastfreundschaft durch das französische Nationalkomitee machten die 32. Session der CIGRE wieder zu einem großen Erfolg für die Technik und für das gemeinsame Wirken und Verstehen der Ingenieure und Wissenschaftler aus den verschiedensten Ländern.

Das Gesamtprogramm des Kongresses umfaßte

- ganztägige Diskussions-Meetings der 15 Forschungskomitees, das bedeutet, daß stets 2 bis 3 Meetings parallel tagten
- interne Arbeitsberatungen der 15 Forschungskomitees (SC) sowie die Meetings der zugehörigen zeitweiligen Working Groups (jedes SC hat etwa 5 solcher Arbeitsgruppen)
- zwei Arbeitsberatungen des Verwaltungsrates
- die Generalversammlung der CIGRE
- zwei Rundtischgespräche zu speziellen Problemen, die für die Gesamt-CIGRE-Arbeit ein besonderes Gewicht haben, bzw. in naher Zukunft erlangen werden; die Themen der diesjährigen Gespräche waren
  - Zuverlässigkeit großer Elektroenergiesysteme
  - Aufbau von Elektroenergiesystemen in Entwicklungsländern
- Filmvorführungen zur Lösung besonderer technisch-technologischer Probleme, z.B. Montage und Inbetriebnahme großer Anlagen oder moderne Wartungstechnologien.

Es war wiederum mit Genugtuung festzustellen, mit welchem großen Interesse und Engagement sich die Experten aus allen Kontinenten mühten, für die Elektroenergie-Übertragung in ihren Ländern — unter den verschiedensten, z.T. konträren Bedingungen — optimale Lösungen zu finden. Sowohl die außergewöhnliche Vielfältigkeit der Bedingungen aber auch die zunehmende Notwendigkeit der Schaffung großer, Ländergrenzen überschreitender Verbundsysteme fordert und fördert diesen beispielhaften weltweiten Erfahrungsaustausch.

Bedingt durch den erreichten Stand der gesamten Elektroenergie-Übertragungstechnik und deren Beherrschung seitens der „Hersteller" und „Betreiber" gewinnen folgende Themen bzw. Probleme in der zukünftigen CIGRE-Arbeit besondere Bedeutung:

- Erhöhung der Zuverlässigkeit der Geräte, der Ausrüstungen und der Systeme
- Wartung der Geräte und Ausrüstungen
- Alterung der Werkstoffe sowie technische Diagnosen
- Hilfe für die Entwicklungsländer beim Aufbau eigener Elektroenergiesysteme
- Einführung neuer Technologien, insbesondere im Bereich der Steuerung, der Überwachung und des Netzschutzes.

Auf den folgenden Seiten dieses Heftes sowie in Fortsetzung der Berichterstattung in weiteren Heften werden in bewährter Form die Diskussionsschwerpunkte und wesentliche Erkenntnisse für Forschung und Entwicklung aus den Meetings sowie den nahezu 200 eingereichten CIGRE-Berichten zusammengefaßt. Über die Beiträge der Vertreter des DDR-Nationalkomitees — Berichte SC 13 und SC 33 und ein gemeinsamer Bericht mit der ČSSR für das SC 22 sowie zahlreiche Diskussionsbeiträge — wird in dieser Zeitschrift gesondert berichtet. Spezielle Anfragen können an die Berichterstatter direkt gerichtet werden.

Prof. Dr. sc. techn. *Ottmar Müller*
Präsident des Nationalkomitees CIGRE
der Deutschen Demokratischen Republik

EA 2928

SC 37: Planung und Entwicklung von Energiesystemen

Berichterstatter: Dr.-Ing. *F. Berger*

Im Sonderbericht 37-00 wird zunächst festgestellt, daß es in den letzten zehn Jahren zahlreiche Bemühungen zur Suche und Anwendung verschiedenartiger Primärenergiequellen gab, weil Elektroenergie einfach über große Entfernungen übertragen werden kann und eine große Flexibilität bei ihrer Nutzung charakteristisch ist. Sie hat bereits ihren Anteil am Energiebedarf der modernen Gesellschaft und wird ihn auch weiterhin haben und trotz der Unsicherheit der weiteren Entwicklung hält der Vormarsch der Elektroenergie an und läßt keinen Zweifel über ihre Hauptrolle in den nächsten Jahrzehnten aufkommen.

Die 3 Vorzugsthemen konzentrierten sich auf diese Probleme.

Ergebnisse:

1. Verbesserung und Erweiterung der Elektroenergieanwendung

Die Entwicklung des Elektroenergieverbrauchs in hochentwickelten Ländern in den letzten 25 Jahren zeigt, daß das Wachstum anhält, wenngleich ab Mitte der 70er Jahre der Gradient aufgrund der damals sehr hoch gestiegenen Erdölpreise geringer wurde.

Andererseits stieg der Verbrauch von fossilen Brennstoffen bis zur Mitte der 70er Jahre mit einer anschließenden wesentlichen Abnahme bis zur Gegenwart. Die zeitliche Entwicklung des Elektroenergieverbrauchs im Verhältnis zum Verbrauch fossiler Brennstoffe ist in der Form nahezu parabolisch (eine Bumerang-Kurve), wobei der Scheitel in der Mitte der 70er Jahre liegt.

Diese Entwicklung ist das Ergebnis verschiedener Faktoren, wie:

- die Regierungsstrategien, die im allgemeinen auf eine verringerte Abhängigkeit von Importbrennstoffen und auf eine rationelle Energieverwendung zielten
- die Verbraucherreaktionen auf Preiserhöhungen, die unterschiedlich waren, die offensichtlichen Einsparungen, die technischen Umstellungen, die Neuorganisation der Produktion in der Industrie und der Ersatz von Energie aus fossilen Brennstoffen durch Elektroenergie.

Bezüglich der Anwendung der Elektroenergie in der Industrie wurden zwei Hauptwege diskutiert:

- Verbindung eines Prozesses oder der Herstellung eines Produktes mit dem Elektroenergiesystem selbst (Integration von Produktion und Elektroenergieverbrauch)
- Verwendung der Elektroenergie auf völlig dezentralisierte Weise durch Inanspruchnahme vorteilhafter Substitutionskoeffizienten und Tarifniveaus.

Der erste Weg wird im Bericht 37-09 beschrieben, der eine integrierte Lösung der Herstellung von Wasserstoff durch Elektrolyse von Wasser vorstellt. Diese Gaserzeugung wird durch ein Kernkraftsystem ermöglicht. Damit ist eine große Gaslagerkapazität verbunden sowie ein Gastransportsystem, wodurch die Kernenergie außerhalb der Spitzenzeiten in den Sommermonaten verwertet werden kann.

Die Kosten-Nutzen-Analyse der Elektrolyseanlage erfolgte für den Zeitraum von 1990 bis 2010 mit einer Inflationsrate von 8%. Die Ergebnisse zeigen den Vorteil der Elektrolyse im Vergleich zum Erdgasreforming oder zur Kohlevergasung.

Eine derartige 20-MW-Elektrolyseeinheit wird 1989 bei der EDF in Betrieb gehen.

Aus der Diskussion ging auch hervor, daß in Japan eine kombinierte Erzeugung von Elektroenergie und Wasserstoff geplant wurde. Bezüglich der Heizungssysteme in Wohngebieten wird auf deren automatische Steuerung orientiert, einschließlich z.B. von Waschmaschinen. Die bekannten Prozesse des zweiten Weges sind Elektrohei-

zung, Wärmepumpe und Dampfkompression.
Der Bericht 37-06 enthält Details über die neuesten technischen Fortschritte bei der Konstruktion und Herstellung der Turbokompressoren, die in Wärmepumpen und bei der Dampfverdichtung verwendet werden. Beträchtlicher Fortschritt wird auch für elektrische Heizprozesse angezeigt. Der Bericht erwähnt auch die Verwendung von Plasmabrennern für die Beseitigung von Hausmüll, wenn sich andere Verbrennungsverfahren als zu schwierig erweisen. Mehr in Verbindung mit der Elektroenergieerzeugung zeigt ein Fall der Rückgewinnung der latenten Wärme des im Kesselrauchgas enthaltenen Dampfes, daß Verbesserungen des Kesselwirkungsgrades in der Größenordnung von 10% erreicht werden können, falls Brennstoffe mit hohem Feuchtigkeitsgehalt (wie Torf oder Rasen) gefeuert werden.
Die Wärmerückgewinnung kann mit der Rauchgasreinigung kombiniert werden. Eine Wärmepumpe kann in den Kreislauf geschaltet werden, wodurch der Prozeßwirkungsgrad weiter erhöht wird, indem der Kesselwirkungsgrad um 10% erhöht wird.

2. Planung eines flexiblen Systems angesichts der Ungewißheit der Entwicklung

Während in der Vergangenheit Planungsfehler durch die große Wachstumsrate schnell verdeckt wurden, ist das bei geringen Raten nicht mehr möglich.
Darüber hinaus kann das Herausschieben einer Entscheidung in einer Zeit hoher Unsicherheit sehr wertvoll sein, da man später die Aktion auf realen Ereignissen basierend einleiten kann und nicht auf Vorhersagen, die sich schnell als falsch herausstellen könnten.
Die Berichte 37-02, 37-05, 37-07 und 37-11 sowie die Diskussionen hierzu gehen erneut auf das Erfordernis und die Vorteile der Bildung von Verbundsystemen ein:

- Senkung der Erzeugerkapazität beim gleichen Grad von Zuverlässigkeit
- schnellerer Zugriff zur höheren Kapazität und somit ökonomischere Anlagen
- Programme des Kraftwerks- und Systembaus können koordiniert werden
- der Betrieb kann optimiert werden, indem das Verbundsystem als Einzelsystem hinsichtlich der Verteilung der Erzeugung, der Instandhaltungsprogramme für die Erzeugereinheiten und Systemelemente sowie für Kauf und Verkauf von Energie von oder an andere Unternehmen betrachtet wird
- ökonomische Spannungs- und Frequenzhaltung
- Vorteile durch unterschiedliche Belastungsgänge.

So erwähnt der Bericht 37-02 jährliche Einsparungen von 18 Milliarden Dollar in den USA, die durch die Aufnahme eines Verbundbetriebes realisiert wurden, wobei 65% aus der Senkung der Erzeugerkapazität und 35% aus Brennstoffeinsparungen durch die Betriebskoordinierung stammen. Dabei ist zu beachten, daß in den USA etwa 3000 verschiedene Energieversorgungsunternehmen existieren, wovon 300 maßgebend sind. In China wird ebenso wie in Brasilien ein Ausbau des Verbundbetriebes in Angriff genommen, wobei neben 500-kV-Systemen auch HGÜ-Verbindungen in Frage kommen.
Es wurden auch eine Reihe von Softwareprogrammen für die bessere bzw. erhöhte Auslastung der Erzeugungs- und Übertragungsanlagen vorgestellt. So beschreibt der Bericht 37-08 das Programm zur Simulation der Wärmeübertragung in einem Kabel. Die Berechnung basiert auf der Methode der finiten Elemente in Kombination mit einem Monte-Carlo-Verfahren, um die Last, die Umgebungstemperatur und den Feuchtegehalt der Erde zu berücksichtigen. Die sich ergebende bessere Kenntnis des Kabelverhaltens ermöglichte ein präzises definiertes Planungskriterium, so daß die Installation eines neuen Kabels um einige Jahre verschoben werden konnte.
Es wurde jedoch auch darauf hingewiesen, daß eine häufigere Nutzung der Ausrüstungen an ihren physikalischen Grenzen unweigerlich zu ihrer schnelleren Alterung führt.
Von mehreren Diskussionsrednern wurde auf die Zweckmäßigkeit der Kombination von alten Dampfkraftwerken im Dampfkreislauf mit Gasturbinen hingewiesen, womit eine 40% höhere Effektivität und 30% geringere Kosten erreichbar sind.
Bezüglich des Beitrages neuer Methoden und Mittel für die Planung ist festzustellen, daß die Planungsingenieure durch Fortschritte der Datenverarbeitung ein neues Mittel erhielten, mit dem es möglich ist, Großinvestitionen aufzuschieben. So haben die Regel- und Überwachungsmittel der Fernwirktechnik sowie die Echtzeitverarbeitung von Daten in modernen Kontrollzentren dazu beigetragen, die Grenzen des Systembetriebes und der Flexibilität zu erweitern.
Es wurde jedoch davor gewarnt, von vornherein Möglichkeiten der Systemtrennung und des Lastabwurfs als Planungsgrundlage zu verwenden, während die automatische Spannungsregelung und Energiesystemstabilisatoren sowie statischen Blindleistungskompensatoren zur Erhöhung der Übertragungskapazitäten und Verbindung von Fehlereskalationen in die Planung einzubeziehen sind.

3. Probleme der Spannungsstufung

Durch Überlagerung einer neuen Spannungsebene zu den bestehenden in vielen Ländern in den letzten Jahrzehnten und das schnelle Wachstum dieses neuen Systems, sind vielfach 4 Spannungsebenen entstanden, wobei die Niederspannung ausgeklammert ist. Damit entsteht zwangsläufig die Frage, ob die Beibehaltung und ständige Entwicklung dieser 4 Spannungsebenen gerechtfertigt ist, die sowohl in den 4 vorgelegten Berichten als auch in der Diskussion übereinstimmend verneint wird. So behandelt der Bericht 37-01 die Versorgung des Geschäftszentrums von Sydney mit einer Lastdichte von 150 MVA/km². Eine in den sechziger Jahren getroffene Entscheidung einer Umstellung des Dreispannungssystems 132/33/11 kV auf 132/11 kV mit einer Gesamtleistung von 200 MVA hat sich bewährt und wird weiter realisiert.
Eine interessante Sensitivitätsanalyse wird im Bericht 37-03 gegeben. Die Autoren untersuchen den Einfluß einer Reihe von Parametern auf die Entscheidung, die Entwicklung einer gegebenen Zwischenspannungsebene rechtzeitig zu stoppen oder zu verzögern. Die durch ein analytisches Verfahren dargestellten Trends werden durch die Überprüfung von 3 Einsatzfällen erhärtet. Die Analyse schlußfolgert, daß für einige Netze die Bedingungen für den Beginn der Beseitigung einer Spannungsebene erfüllt sind. Für andere nicht, da die Lastdichte noch kein ausreichendes Niveau erreicht hat.
Die Orientierung der ČSSR auf die Direktabspannung 400/110 kV anstelle 400/220/110 kV wird im Bericht 37-04 erläutert. Dabei wird auch auf die Möglichkeit des Umbaues von 220-kV-Doppelleitungen mit Tonnen-Mastkopfbild und einer Belegung mit 350 mm² AlSt-Seilen auf eine 400-kV-Einfachleitung mit Zweierbündel 2 × 450 mm² AlSt und V-Kettenaufhängung in Dreieckanordnung hingewiesen.
Im Bericht 37-10 wird schließlich ausführlich die Strategie einer optimalen Spannungsstufung in Frankreich begründet. Auch hier wird der Ausbau des 220-kV-Netzes verzögert und die Spannungsebenen 63 kV bzw. 90 kV stärker ausgebaut. Noch bestehende 45-kV- und 150-kV-Netze werden weiter reduziert. Auf die Notwendigkeit ausführlicher Planungsstudien wird in diesem Zusammenhang hingewiesen. Von einer gemeinsamen Arbeitsgruppe der CIGRE und der CIRED wurde eine umfassende Studie angefertigt, die aufzeigt, daß 3 Spannungsebenen optimal sind. Haupteinflüsse sind die Anzahl der Speisepunkte, die Größe und Dichte der Umspannwerke sowie die Netzstrukturen. Allgemein bedingt eine höhere Lastdichte ein höheres Verhältnis zwischen den Spannungsebenen, eine geringere Anzahl der Spannungsebenen und eine höhere optimale Spannungsebene. Neben der Lastdichte sind auch noch die Steigerungsraten und Umweltbeschränkungen für die Entscheidung zur Unterdrückung gewisser Spannungsebenen von Bedeutung und natürlich der Einfluß des bestehenden Systems. In der Diskussion wurde auch noch besonders herausgestellt, daß es für Entwicklungsländer keine einheitlichen Lösungen gibt, weil die Zwischenspannungsebenen verschiedene Aufgaben haben. So orientiert die VR China auf 500/220/110/11 kV oder 500/22/66/11 kV und in Großstädten auf 500/220/35 kV. In Brasilien wird es teilweise auch eine Stufung 500/69 kV neben 500/220/69 kV geben.

Berichte der Gruppe 37

37-01 Planning the development of the electrical power supply system to the City of Sydney's central business district — New South Wales — Australia. *M. B. Elliot, G. M. Waite* (Australia)
37-02 Generation planning and transmission systems. *P. J. Palermo, J. A. Casazza, J. Lucas, F. Branca* (United States)
37-03 The future of systems between bulk transmission and distribution in an industrialised country. *E. Van Geert, Y. Bouffioulx* (Belgium)
37-04 The task of the original 220 kV network in the Czechoslovak transmission system. *V. Novotny, B. Willman, K. Roubal* (Czechoslovakia)
37-05 Increasing power system utilisation. *H. Maula, J. Seppala, E. Stam* (Finland)
37-06 Process and equipment solutions for rational use of energy. *M. Heikkila, M. Kara* (Finland)
37-07 Improving the security of transmission from Buyo pending the construction of Soubre. *Bonfils Sibi, Kouassi N'Da, Pierre Glouzon, Yvonne Gueye* (Ivory Coast)

37-08 Delaying investments in transmission fecilities trough cable uprating. *G. J. Anders, M. M. Krpan, J. Roiz, M. Chaaban* (Canada)

37-09 Water electrolysis in chemistry: Seasonal transmission mode for electricity. *C. Derive, R. Grosbonnivard, J. Y. Portas* (France)

37-10 The subtransmission networks at EDF; their role, their ongoing as well as future planning procedures. *F. Ferlay, F. Meslier, J. Stengel, J. Verseille* (France)

37-11 Transmission system planning in Jordan. *M. Azzam, F. Elkarmi, A. Alsaid* (Jordan), *J. E. Bird* (United Kingdom)

EA 2914

SC 38: Analyse und Verfahren der Elektroenergiesysteme

Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. habil. *H. Pundt*

Im Sonderbericht 38-00 wird wie schon zur CIGRE 86 (siehe ELEKTRIE H. 1/1987) davon ausgegangen, daß die wachsenden Schwierigkeiten bei der Errichtung neuer Kraftwerke und Übertragungsleitungen durch Umwelt- und Finanzbeschränkungen zunehmend die intensive Nutzung vorhandener Ressourcen erfordern, wobei auch die Zuverlässigkeit, Sicherheit und Qualität der Versorgung immer wichtiger werden. Das erfordert auch eine bessere Computerausrüstung, sowohl bezüglich Soft- als auch Hardware, die die Genauigkeit der Analyse des Elektroenergiesystems erhöht und genügend schnell und leistungsfähig ist, um auf die verschiedensten Situationen anwendbar zu sein.

1. Einsatz von Blindleistungsressourcen

Das erste Vorzugsthema befaßt sich hauptsächlich mit dem Problem der Verbesserung der Übertragungskapazität des Netzes durch geeignete Anwendung der modernen Ausrüstung für die Erzeugung und Regelung von Blindleistung und Spannung. Die vorgelegten 6 Berichte bestätigen, daß die Anwendung der thyristorgeregelten Einrichtungen heute eine eingeführte Technologie für Elektroenergiesysteme darstellt. Sie ermöglichen die effektive und zuverlässige Lösung der Probleme der Stabilität und des Spannungszusammenbruchs während Ausgleichsvorgängen. Die Berichte zeigen auch, daß beträchtliche Kosteneinsparungen durch sorgfältige Optimierung der Zusammensetzung und der Anordnung der verschiedenen Blindleistungsquellen (statische Blindleistungskompensatoren, schaltbare Kondensatoren oder Reaktoren usw.) erzielt werden können.

Spannungsunsymmetrien im stationären Betrieb

Im Bericht 38-05 wird der Einsatz von thyristorgeregelten Reaktoren, kombiniert mit thyristorgeschalteten Kapazitäten und fest eingebauten Kondensatoren zwischen den Leitern zum Ausgleich zeitlich veränderlicher unsymmetrischer Lasten, die Gegenströme hervorrufen, behandelt. 22 derartige Einrichtungen mit insgesamt 1800 MVar zum Ausgleich von unsymmetrischen Lasten, insbesondere hervorgerufen durch Einphasen-Bahnstromversorgungen oder unverdrillte Leitungen, sind bisher eingesetzt worden. Neben dem Blockdiagramm für die getrennte Regelung der einzelnen Zweige werden die Stabilität der Mitsystemspannung und die Unterdrückung der Gegensystemspannung gezeigt. Zur Oberschwingungskompensation werden für jeden statischen Blindleistungskompensator eigene Filter vorgesehen.

Transiente und dynamische Stabilität

Die transiente und dynamische Stabilität werden zwar grundsätzlich von der Wirkleistung beeinflußt, doch die verschiedenen Mittel zur Regelung der Blindleistung und Spannung haben beträchtliche, wenn auch indirekte, vorteilhafte Wirkungen, da sie die abgegebene Wirkleistung von Generatoren beeinflussen können, durch Lasten aufgenommen werden und die Übertragungsfähigkeit der Leitungen erhöhen. Der Bericht 38-07 schlägt thyristorgeschaltete Spulen und Kondensatoren vor, die in kleine Gruppen unterteilt sind und eine billigere Lösung als thyristorgeregelte Reaktoren für die Beherrschung von Stabilitätsproblemen sind.

Der Bericht 38-02 vergleicht thyristorgeschaltete Kondensatoren mit der noch preiswerteren Lösung der automatisch geregelten, aber mechanisch geschalteten Kondensatoren.

Mechanisch geschaltete Kondensatoren werden auch gemäß Bericht 38-06 für das CEGB-System in England verwendet.

Im Bericht 38-02 wird außerdem als neues Mittel zur Verbesserung der Regelfähigkeit und Übertragungskapazität von Drehstrom-Fernübertragungen der Einsatz von thyristorgeregelten Reaktanzen in Reihenschaltung mit der Leitung, die auch in Verbindung mit einer Reihenkondensatoranlage eine schnelle kontinuierliche Anpassung der Übertragungsimpedanz gewährleistet, vorgeschlagen.

In der Diskussion wird auch die automatische Ein- und Ausschaltung von statischen Blindleistungskompensatoren (4 Zyklen mit jeweils 100 ms Einschaltung und 50 ms Abschaltung) zur Dämpfung der transienten Stabilität vorgeschlagen.

Zur Dämpfung der langperiodischen Schwingungen werden nach wie vor erfolgreich Energiesystemstabilisatoren eingesetzt. Auf die stabilisierende Wirkung von hochgespannten Gleichstrom Übertragungen (HGÜ) wird in Verbindung mit einer geplanten HGÜ in Brasilien hingewiesen. Interessant ist auch der Hinweis in der Diskussion, daß durch zusätzliche Regelverfahren von Gleichstrom-Kurzkupplungen Schwingungen in den gekoppelten Drehstromsystemen gedämpft werden können.

Spannungszusammenbrüche

Mit dem Anwachsen der Größe und der Entfernung der Energieübertragung wurden in den letzten Jahren große Störungen in Elektroenergiesystemen infolge Spannungseinbruch beobachtet. Daher wurden Verfahren zur Untersuchung dieser Probleme im Planungsstadium entwickelt.

Um diese Störung zu vermeiden, wurden gem. den Berichten 38-06, 38-07 und 38-13 Blindleistungskompensatoren installiert.

Der Bericht 38-13 beschreibt für das türkische System die Verwendung entkoppelter Gasturbinengeneratoren als Synchronphasenschieber, wobei die sehr geringen Kosten dieser Lösung betont werden, falls Gasturbinen vorhanden sind. Dieselbe Lösung wird in 38-06 erwähnt.

Die Berichte 38-06 und 38-07 schlagen für das CEGB-System und das südaustralische System mechanisch geschaltete Kondensatoren mit automatischer Einschaltung auf der Basis von Mikroprozessoren vor. In beiden Fällen werden weitere Mittel zur Blindleistungsregelung mit schnellerer Zugriffszeit eingesetzt; aber in der Hauptsache zur Verbesserung der transienten und dynamischen Stabilität.

Das dynamische Verhalten der Last (P und Q) als Funktion der Spannungsänderungen ist wichtig für Spannungseinbruchsuntersuchungen sowie bei der Spannungswiederkehr nach der Beseitigung von Kurzschlüssen. Die Berichte 38-07 und 38-13 sind interessante Beiträge zu diesen Problemen. Letzterer beschreibt insbesondere die Simulation des Spannungsverlaufs nach einer schweren Störung und die verwendeten Modelle für die Ersatzlast in Istanbul.

Gesamtoptimierung der Blindleistungsressourcen

Bericht 38-16 untersucht die Spannungs- und Blindleistungsregelung eines Drehstromübertragungssystems über große Entfernungen (1500 bis 3000 km), wie es z. B. zwischen den Amazonas-Wasserkraftressourcen und den großen brasilianischen Lastzentren erforderlich wird. Spannungsstützsysteme mit statischen Blindleistungskompensatoren sind an jedem Zwischenumspannwerk installiert, um in jedem Betriebsfall und zu jedem Moment den Blindleistungsverbrauch oder die -erzeugung der Leitung kompensieren zu können. Die Leitung selbst wird auch optimiert (Größe, Anzahl und Abstand der Teilleiter, Leiterabstände usw.), wodurch in einigen Fällen unkonventionelle Lösungen entstehen, d. h., es werden Bündelleiter mit 14 Teilleitern (3900 mm² Gesamtquerschnitt) und 3 m Durchmesser als Alternative zu 2 parallelen Leitungen untersucht, um die natürliche Leistung zu erhöhen und damit den Bedarf an Kompensationsleistung nebst Übertragungskosten zu senken.

Von italienischer Seite wird hierzu noch festgestellt, daß die Kosten für ein 14er Bündel das 5fache eines Viererbündels betragen werden.

2. Einfluß neuer Methoden und Computerkonfigurationen auf die Analyse von Elektroenergiesystemen

Die 6 Berichte zu dem 2. Vorzugsthema behandeln ein breites Spektrum von Problemen, die auch auf die Schwerpunkte im SC 39 übergreifen.

Analyse von Kurzschlußstömen

Im Bericht 38-10 wird ein Verfahren zur direkten Messung der Kurzschlußimpedanz an einem Netzknoten beschrieben, das bei den Badenwerken bereits erfolgreich eingesetzt wird. Es werden dabei die durch Einschalten eines leerlaufenden Transformators entstehenden Strom- und Spannungsänderungen aufgezeichnet und verarbeitet. Bestimmt werden alle symmetrischen Impedanzen. Die Notwendigkeit für ein derartiges Verfahren wird mit Schwierigkeiten

bei der Datenermittlung aus benachbarten Elektroenergiesystemen begründet.
Der Bericht 38-11 beschreibt ein analytisches Verfahren zur Berechnung der Wahrscheinlichkeitsverteilung der Kurzschlußströme in einer Leitung infolge von Fehlern beliebigen Typs an beliebiger Stelle im System und unter unterschiedlichen Betriebsbedingungen. Das Verfahren verwendet die Busimpedanzmatrix, womit die Rechenzeit ohne Einbuße an Genauigkeit erheblich gesenkt wurde. Das Verfahren wird für das griechische Übertragungssystem angewandt.
Von seiten der DDR wurde hierzu in der Diskussion die Richtlinie zur stochastischen Kurzschlußstromberechnung im Kombinat Verbundnetze Energie vorgestellt.

Probabilistische Lastflußberechnungen

Um die vielfältigen Möglichkeiten des Energieaustausches des AEP Verbundsysteme in den USA über 100 Zwischensystemverbindungen in den Spannungsebenen von 138 kV bis 765 kV zu 27 Nachbarsystemen optimal auslasten zu können und dabei Zuverlässigkeit und ökonomischen Nutzen zu garantieren, wurde die im Bericht 38-01 vorgestellte probabilistische Analyse der Übertragungsfähigkeit entwickelt und seit vielen Jahren erfolgreich in Nordamerika eingesetzt. Das Verfahren ermöglicht einerseits für die Betriebsführung eine bessere Bewertung des Netzes hinsichtlich der vorgesehenen Übertragungsleistungen und andererseits im Planungsstadium eine genauere Auswahl alternativer Ausbaupläne im Vergleich mit der konventionellen deterministischen Berechnung. Da das Verfahren eine lineare Lastflußberechnung nutzt, ist es nicht direkt für nichtlineare Fälle anwendbar, d.h. wenn die Spannung oder die dynamische Stabilität Grenzbedingungen sind. In der Diskussion wurde übereinstimmend festgestellt, daß probabilistische Lastflußberechnungen vorteilhaft sind und im Vergleich mit deterministischen Berechnungen bessere Erkenntnisse über die Begrenzungen im Netz vermitteln. Es wird erwartet, daß mit Supercomputern in Zukunft auch derartige Verfahren mit komplexen Lastflußalgorithmen arbeiten können. Auch sollten sie mit der (n-1)-Ausfallsimulationsrechnung verknüpft werden.

Dynamik des Elektroenergiesystems

Der Bericht 38-08 beschreibt Algorithmen und Rechenmethoden für Lastfluß und statische aperiodische Stabilitätsstudien bei veränderlicher Frequenz, die in der UdSSR eingesetzt werden. In 38-03 wird ein neues Rechenprogramm STAG zur Simulation des dynamischen Verhaltens von Elektroenergiesystemen vorgestellt. Durch eine kontinuierlich veränderliche Integrationsschrittweite ermöglicht das Programm die durchgängige Berechnung der Ausgleichsvorgänge über einen großen Zeitbereich, d.h. von den schnellen elektromagnetischen bis zu den langperiodischen elektromechanischen Vorgängen. In einem Beispiel — Kurzschluß an einem 900-MW-KKW-Block mit 190 ms Dauer — wird die Schrittweite von 0,1 ms bis zu 0,3 s innerhalb der ersten 6 s des Ausgleichsvorganges vergrößert, um dann mit zunehmender Dämpfung der schnelleren Schwingungen über etwa 8 s Schrittweite nach 100 s des Vorganges den Endwert einer Schrittweite von 40 s bei 400 s Rechenzeit zu erreichen. In der Diskussion wurden verschiedene andere Programme vorgestellt, mit denen z. B. ein langsam innerhalb von 72 min eintretender Spannungszusammenbruch simuliert wurde. Von seiten der DDR wurde dabei auf die effektive Berechnung von Ausgleichsvorgängen durch Anwendung der Time-scale modelling hingewiesen, die an der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden, insbesondere bei neuen PC-Programmen zielgerichtet angewandt wird und wodurch eine Schrittweitensteuerung nicht erforderlich ist. Außerdem wurde die Leistungsfähigkeit der PC-Programme NEDYN und PC-EMMA erläutert und die damit realisierte Dialogführung und Graphik. Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß zugeschnittene Programme zur Berechnung der einzelnen charakteristischen Ausgleichsvorgänge als zweckmäßiger eingeschätzt werden, dem Einsatz einer interaktiven Graphik große Bedeutung zukommt und auch hier Expertensysteme in Zukunft eingesetzt werden können.

3. Übertragungstechnik bei Spannungen über 1000 kV

Von den 4 hierzu vorliegenden Berichten gibt der von der WG 38-04 ausgearbeitete Bericht 38-12 einen umfassenden Überblick über alle Projekte für Höchstspannungs-Drehstromübertragungen (HDÜ) über 1000 kV und Höchstspannungs-Gleichstromübertragungen (HGÜ) über $\pm$ 600 kV, während die Berichte 38-15, 38-09 und 38-04 den aktuellen Stand in der UdSSR, Italien bzw. Japan darstellen. Während in der UdSSR ein 500 km langes Teilstück der 2500 km langen 1200-kV-HDÜ schon seit 1985 in Betrieb ist, existieren in den anderen Ländern nach wie vor nur Prototypen der Komponenten. Im Bericht 38-12 werden alle Hauptcharakteristiken gegenübergestellt und auch in einem 2. Teil spezielle Netzprobleme und ihre Lösungen, wie schnelle automatische Wiedereinschaltung und Methoden zur Löschung von Sekundärlichtbögen, Blindleistungskompensation zur Regelung des Spannungsbandes und zeitweilige Überspannungen, Schalt- und Blitzüberspannungen, Problem der fehlenden Nulldurchgänge des Kurzschlußstromes, behandelt. Da für die DDR die Notwendigkeit des Einsatzes derartiger Spannungsebenen auch in Zukunft nicht gegeben ist, soll hier nur noch auf einige Diskussionsschwerpunkte eingegangen werden. So zeigen die Untersuchungen in Brasilien in Verbindung mit Bericht 38-16, daß für die in der Perspektive zu übertragenden 6000 MW über 2400 km eine HGÜ mit $\pm$ 800 kV am wirtschaftlichsten ist. Auch hier sind Sechserbündel vorgesehen. Im Zusammenhang mit der Planung der Trasse der 1000-kV-Leitung in Japan (im Gegensatz zu allen anderen Projekten wird eine Doppelleitung mit einer Leiteranordnung in 3 Ebenen, die eine Masthöhe von 108 m bedingt, vorgesehen) wird mit Computergraphik die Einordnung in die Landschaft untersucht. Gegenüber einer Fehlerquote von 0,92/100 km Jahr bei 500 kV wird bei 1000-kV-Leitungen eine solche von 0,33 prognostiziert. Bezüglich Überspannungen bei SF_6-Schaltanlagen wird eingeschätzt, daß sie mit Einbau von Resistanzen (etwa 100 Ω) und Metalloxydableitern beherrschbar sind. Eine einpolige Schnellwiedereinschaltung wird unbedingt erforderlich, weil der Ausfall einer derartigen Hochleistungsübertragung problematisch wird.

Berichte der Gruppe 38

38-01 Application of probabilistic transfer capability analysis in transmission system performance studies. *R. M. Maliszewski, M. Chau* (United States)
38-02 Case studies of conventional and novel methods of reactive power control on an AC transmission system. *J. J. Vithayathil, C. W. Taylor, M. Klinger, W. A. Mittelstadt* (United States)
38-03 Simulation of the dynamic behaviour of electrical power systems in the short and long term. *M. Stubbe, A. Bihain, J. C. Baader, J. Deuse* (Belgium)
38-04 Latest developments in the Japanese 1000 kV transmission technology. *Y. Ichida, T. Hayashi, Y. Ozaki, Y. Sekine* (Japan)
38-05 Balancing asymmetries by means of thyristor controlled static var compensators. *V. Klerfors, T. Petersson* (Sweden)
38-06 Future application of reactive compensation plant on the CEGB system to improve transmission network capability. *W. B. Jervis, J. G. P. Scott, H. Griffiths* (United Kingdom)
38-07 Optimisation of static var compensators and switched shunt capacitors in a long distance interconnection. *G. N. Allen, V. E. Henner, C. T. Popple* (Australia)
38-08 Load-flow and steady-state stability analysis of complex electric power systems with the account of frequency variations. *V. A. Barinov, V. A. Venikov, S. S. Sovalov, V. A. Stroev* (USSR)
38-09 1200 kV transmission line in the USSR. The first results of operation *N. N. Belyakov, I. M. Bortnick, A. F. Djakov, M. I. Horoshev, V. V. Ilynichin, O. A. Nikitin, V. S. Rashkes, N. N. Tikhodeyev, O. V. Volkova, I. I. Kartashev* (USSR)
38-10 On site measurement of the short-circuit impedance in high voltage systems. *E. Hoffmann, P. Schwetz* (Fed. Rep. Germany)
38-11 Global probabilistic index of system fault contingencies. *B. C. Papadias, N. D. Hatziargyriou, D. K. Tsanakas* (Greece)
38-12 Electric power transmission at voltages of 1000 kV AC or $\pm$ 600 kV DC and above. Working Group 38.04, Convenor *F. Manzoni*. Network problems and solutions peculiar to UHV AC transmission. Task Force 04.04. Convenor: *Y. Ichida*. Paper presented in the name of Study Committee 38 (Power system analysis and techniques)
38-13 Optimal use of reactive power resources for voltage stabilisation in long distance EHV transmission. Applications to the Turkish 420 kV system. *F. Gatta, F. Iliceto, E. Cinieri* (Italy), *A. Erkan* (Turkey)
38-14 Considerations concerning the prospects offered by modern technologies to the studies of electric systems. *M. Pavard* (France)
38-15 Suvereto 1000 kV pilot plant: Results of the research and plant design characteristics. *B. A. Cauzillo, R. Conti, G. Mazza, P. Nicolini, L. Gianuzzi* (Italy)
38-16 Reactive power balance optimization to improve the energy transfer through AC transmission systems over very long distance. *R. Giglioli, L. Paris, G. Zini, F. Saccomanno* (Italy), *A. Vian, C. Morrissy* (Brazil)
38-17 Power system reliability analysis. Working Group 03. Convenor: *D. McGillis*. Paper presented in the name of Study Committee 38 (Power system analysis and techniques) for the Round Table discussions.

EA 2919

SC 39: Betrieb und Regelung von Elektroenergiesystemen

Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. habil. *H. Pundt*

Im Sonderbericht 39-00 wird zunächst festgestellt, daß sich die Elektroenergie-Versorgungsunternehmen immer größeren Zwängen gegenübersehen, eine zuverlässige Elektroenergieversorgung bei niedrigen Kosten zu gewährleisten. Deshalb müssen neue Verfahren und Methoden dazu beitragen, daß die Elektroenergiesysteme mit optimalem Ergebnis geplant, geleitet, betrieben, geregelt und überwacht werden können. Die 19 in Gruppe 39 vorgelegten Berichte und die 3 Vorzugsthemen widerspiegeln einige der neuesten Entwicklungen, die ein breites Spektrum von technologischen Herausforderungen umfassen. Dabei nimmt der Einsatz von Expertensystemen eine gewisse Schlüsselstellung ein.
Im Sonderbericht 39-00 wurden insgesamt 14 Diskussionsfragen aufgeworfen, zu denen etwa 50 Diskussionsbeiträge gehalten wurden.

Ergebnisse:

1. Richtlinien und Mittel für Betriebsführung, Sicherheit, Qualität und Ökonomie

Als weltweit anerkanntes Maß für die Güte der Betriebsführung eines Elektroenergiesystems gilt, den Bedarf der Abnehmer mit niedrigsten Betriebskosten bei einer akzeptablen Qualität zu befriedigen. Um das zu gewährleisten, muß die Wechselwirkung zwischen den 3 Schwerpunkten Strategien für die Betriebsführung, Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit umfassend berücksichtigt werden. Die Berichte und die Diskussion wurden in diese Schwerpunkte unterteilt.

Strategien für die Betriebsführung

Gegenwärtig ist eine Vielzahl neuer und leistungsfähiger analytischer Verfahren verfügbar, um effektive Pläne für die Betriebsführung im Lang- und Mittelzeitbereich aufzustellen. Es werden auch neue Verfahren und Methoden entwickelt, um eine ähnliche Leistungsfähigkeit für Entscheidungen im Echtzeitbereich zu erreichen. Der Bericht 39-10 beschreibt, daß verbesserte Verfahren für die Meßwerterfassung und die Aussonderung falscher Meßwerte in Echtzeit erfolgreich im Vereinigten Verbundsystem der UdSSR eingesetzt werden. Ferner kann festgestellt werden, daß die anwachsende Systemautomatisierung zu schnelleren Regelvorgängen führt, so daß für den Dispatcher weniger Zeit verbleibt, um den aktuellen Systemzustand zu analysieren und die Regelvorgänge zu verifizieren.
Der Bericht 39-02 weist darauf hin, daß die stochastische Natur des Elektroenergiesystems berücksichtigt werden muß. Es wird berichtet, daß in Brasilien ein Verfahren für die stochastische Leistungsflußberechnung zusätzlich zu den klassischen deterministischen Methoden bei der Bewertung des operativen Betriebs angewendet wird. In der Diskussion wird auch von anderen Ländern die Zweckmäßigkeit stochastischer Lastflußberechnungen betont. Lineare Lastflußverfahren sind dabei zwar schnell, führen aber besonders bei Spitzenbelastungen zu ungenauen Ergebnissen hinsichtlich Blindleistungshaushalt und Spannungshaltung. So ist gerade in kritischen Situationen eine exakte Simulation in Echtzeit erforderlich. Untersuchungen des dynamischen Verhaltens sind meistens auf der Basis der klassischen determinierten Vorgehensweise ausgeführt worden, wobei hauptsächlich das Verhalten des gesamten Systems der Wirkleistungs- und Frequenzcharakteristiken berücksichtigt wurde. Ebenso ist Gewicht auf die determinierten Blindleistungs-Spannungscharakteristiken gelegt worden. Der Bericht 39-11 stellt das Konzept der „Spannungsrampe" vor, wobei die Spannungsrampe als ein Warnsignal vor dem Eintreten des Blackout betrachtet wird. Als „Spannungsrampe" wird die stufenförmige Spannungs-Zeit-Kennlinie bezeichnet, d.h., einem relativ schnellen Abfall der Spannung auf ein bestimmtes Niveau folgt eine längere Zeit, in der dieses Niveau unverändert bleibt. Der Bericht beweist weiter, daß diese „Rampen" normalerweise einige Minuten bestehen bleiben, so daß in dieser Zeit Regeleingriffe möglich sind. Die Notwendigkeit einer schnellen Analyse der Nachhavariestabilität des Systems wurde ebenfalls herausgestellt. Besonders diskutiert wurde die Frage: Welche Bedürfnisse haben die Entwicklungsländer auf dem Gebiet der Information und Betriebsführung, um sie bei der Erhöhung der Wirtschaftlichkeit und der Qualität der Elektroenergieversorgung der Abnehmer zu unterstützen und wie kann man diese Verhältnisse mit denen der Industriestaaten mit ausgebauten Netzleitzentren vergleichen? Hierzu wurde übereinstimmend festgestellt, daß eine spezielle Software erforderlich ist und sich diese Netze durch eine große Diskrepanz zwischen Bedarf und verfügbarer Kraftwerksleistung auszeichnen, die Netze sehr „weich" sind und schnell Instabilitäten infolge Spannungshaltung auftreten.

Qualität der Elektroenergieversorgung

Der Bericht 39-18 (Teil 1) legt im Namen der Arbeitsgruppe 05 (Betriebsverhalten von Elektroenergiesystemen) die Ergebnisse einer umfangreichen Analyse zum Verhalten der Spannung, Frequenz und Einspeisepunkte von großen Elektroenergiesystemen vor. Ausgewertet wurden Angaben von 72 Energieversorgungsunternehmungen in aller Welt, die insgesamt 19586 Einspeisepunkte 110 kV/Mittelspannung und gesamte Spitzenleistungen von 1200 MW bis 45000 MW repräsentieren, wobei die Leistung der Vereinigten Verbundsysteme bis zu 330000 MW beträgt. Unterschieden werden 2 verschiedene Anschaltungen des Umspannwerkes: Einspeisung über 2 Transformatoren von 2 getrennten Hochspannungsleitungen und normal offene Kupplung auf der Mittelspannungsseite (Typ A) oder Einspeisung von 2 Stromkreisen einer Doppelleitung („Doppelstich") und normal geschlossene Kupplung (Typ B). Es ist bemerkenswert, daß nur 10% aller Anschaltungen vom Typ B sind. Die Ergebnisse sind sehr interessant und zeigen signifikate Unterschiede nicht nur zwischen Typ A und B, sondern auch zwischen den Energieversorgungsunternehmen Europas (EU) und Nordamerika (NA), wie die folgende Tafel zeigt.

	Typ A	Typ B	EU	NA
Mittlere Unterbrechungshäufigkeit (Anzahl je Speisepunkt und Jahr)	0,52	0,32	0,42	0,56
Mittlere Unterbrechungsdauer (Minuten je Speisepunkt und Jahr)	35,3	48,0	11,2	54,7
Mittlere Zeit bis zur Wiederversorgung (Minuten je Ereignis)	68	150		

Sicherheit der Elektroenergieversorgung

Der konventionelle Weg zum Festlegen einer angemessenen rotierenden Reserve basiert auf der Erfassung aller einzelnen Möglichkeiten, die sich aus der Abschaltung eines Generators ergeben. Die Kosten für die Bereitstellung der gesamten Reserve können sehr hoch sein und bis zu 2,5% der normalen Betriebskosten des Systems betragen. Der Bericht 39-05 stellt eine Methode für die Reduzierung dieser Reserve vor. Neueste Untersuchungen, die im Elektroenergiesystem Irlands vorgenommen wurden, haben gezeigt, daß in vielen Fällen das sofortige Abschalten eines Generators vermieden werden kann, wodurch es zu einem langsameren Abfall der Frequenz kommt. Durch diese Technik, bezeichnet als „Load Wind-Down", kann die erforderliche Reserve bis zu 50% reduziert werden.
Der Bericht 39-11 beschreibt im Hinblick auf künftige Regelstrategien rechnergestützte Schutzsysteme, die eine Schlüsselrolle spielen werden. Solche Schutzsysteme können auf der Basis der Systembedingungen und der Sicherheitsrestriktionen automatisch die Relaiswerte in online einstellen. Auf diese Weise könnten Abschaltungen, die beispielsweise wegen Überlastungen erforderlich wären, absichtlich für eine kurze Zeit verzögert werden (z.B. während eines Notfalls oder beim Netzwiederaufbau). Dieses Konzept ist mit dem „Load Wind-Down"-Konzept, das im Bericht 39-05 erwähnt wurde, verwandt. Aus den Berichten 39-05 und 39-11 ist ersichtlich, daß ausgefeilte spezielle Schutzschaltungen vorgeschlagen werden, um die Wirtschaftlichkeit des Erzeugersystems und die Übertragungsmöglichkeiten des Übertragungssystems zu verbessern.
In der Diskussion kam noch zur Sprache, daß in Entwicklungsländern meist sogar ein zuverlässiges Informationssystem fehlt.

2. Neue Verfahren für und Erfahrungen mit der Wirk- und Blindleistungsfahrweise, Auswertung praktischer Anwendung bezüglich Sicherheit, Qualität und Ökonomie

In den meisten Netzleitstellen sind technische Anlagen für die Überwachung, Planung und Verteilung der Wirkleistung vorhanden. Diese Anlagen sind voll betriebsfähig. Weniger Nachdruck ist auf die Probleme der Planung, Verteilung und Regelung der Blindleistung gelegt worden. Das läßt sich damit erklären, daß die Wirkleistungsregelung gewöhnlich einen direkten Bezug zur Sicherheit und den Kosten im Elektroenergiesystem hat. Die neuesten Entwicklungsarbeiten eröffnen jedoch auch

neue günstige Gelegenheiten für die Online-Überwachung und -verteilung der Blindleistung.

Neue Hilfsmittel für eine optimale Betriebsführung

Der erste Fragenkomplex zum zweiten Vorzugsthema umfaßt die Integration und Anwendung des optimalen Leistungsflusses. Noch immer wird der optimale Leistungsfluß für ein neues Verfahren gehalten, das in den Netzleitstellen der EVU nur begrenzt angewendet wird und das zu strittigen Ergebnissen führt.

Die gegenwärtigen Einschränkungen für die Anwendung dieses Verfahrens in den Betriebsführungssystemen scheinen sich aus der CPU-Zeit (Zentralprozessor-Zeit) zu ergeben, die das Verfahren speziell benötigt, wenn es für die Minimierung der Produktionskosten verwendet wird und dabei Sicherheitsbeschränkungen mit unterschiedlichen Leistungsbegrenzungen berücksichtigt werden. Eine weitere Sorge ist, in welchem Umfang der optimale Leistungsfluß den Dispatcher bei der Entscheidungsfindung unterstützen kann.

Andere allgemein erwähnte Mängel des optimalen Leistungsflusses sind: Ungenauigkeiten infolge der Äquivalentierung; Anwendung suboptimaler Methoden bei der Approximation der diskreten Variablen; in einigen Fällen auch eine zu große Anzahl von Regeleingriffen durch den Dispatcher. Wegen dieser Mängel — und insbesondere wegen des letzteren Mangels — kann eine optimale Strategie für die Betriebsführung nicht immer erreicht werden. Deshalb wird es in der Praxis eine suboptimale Betriebsführung geben.

Neuerdings ist der Anwendungsbereich des optimalen Leistungsflusses auf die optimale Lastverteilung ausgedehnt worden, wobei kritische Leistungseinschränkungen und die Sicherheitsbeschränkungen berücksichtigt werden.

Der Bericht 39-03 beschreibt ein interessantes Verfahren für den optimalen Leistungsfluß, bei dem bis zu 6 Fälle von Leistungseinschränkungen berücksichtigt werden. Dennoch bereitet bei Online-Anwendungen die benötigte CPU-Zeit Schwierigkeiten. Diese Diskrepanz ist erst noch zu überwinden, bevor der optimale Leistungsfluß völlig in den Echtzeitbetrieb integriert werden kann und vom Dispatcher akzeptiert wird. In der RWE-Hauptschaltleitung Brauweiler wurde jedoch die Betriebsführung des 380/220-kV-Übertragungssystems (326 Sammelschienen und 606 Verbindungen) durch eine optimale Lastflußberechnung wesentlich verbessert, wie der Bericht 39-19 durch Vergleich der Fahrweise 1987 gegenüber 1984 beweist. Es wird eine Senkung der Netzverluste bis zu 5% nachgewiesen und eine wesentliche Verbesserung der Spannungsprofile im 220-kV- und 380-kV-Netz erreicht.

In der Diskussion wurde auch auf die Möglichkeit des sog. „Korrektiven Schaltens" zur Vermeidung von Überlastungen hingewiesen.

Blindleistungsfahrweise und Spannungshaltung

Die Regelung der Spannung beim Abnehmer wird in erster Linie durch die lokale Regelung in den unteren Übertragungsebenen und in den Verteilungsebenen erreicht. Der Einsatz einer Online-Blindleistungssteuerung für die Spannungsregelung in der Übertragungsebene führt zu einer Spannungsstützung, die sowohl die Spannungsregelung ermöglicht als auch Spannungszusammenbrüchen infolge Leistungsmangel vorbeugt. Dafür würde ein ausgedehntes automatisiertes System der Spannungsregelung die Überwachung einer großen Menge zusätzlicher Daten (z.B. Stufenstellung der Transformatoren und Höhe der Blindleistungseinspeisung) erforderlich.

In dem Bericht 39-18 (Teil 2) sind Regelsysteme beschrieben, die von 34 EVU in 18 Ländern angegeben wurden. Gemäß diesem Überblick sind die häufigsten Maßnahmen, die von den EVU für die Spannungsregelung eingesetzt werden, das Schalten von Drosseln und Kondensatorbatterien und in einem geringen Maße das Schalten von Übertragungsleitungen. Ein Drittel der EVU berichtet über den Einsatz der sekundären Spannungsregelung im Hauptübertragungssystem. Bemerkenswert ist die beachtliche Höhe der insgesamt zur Verfügung stehenden Kompensationsleistungen in den jeweiligen Netzen, mit denen ein schmales Spannungsband eingehalten werden kann.

Der Bericht 39-08 stellt ein System für die Blindleistungsplanung und -regelung im Elektroenergiesystem Ungarns vor. Er beschreibt ein hierarchisches System für die Spannungs- und Blindleistungsregelung von Kraftwerken durch automatisches Schalten der Drosseln im Kraftwerk und durch die Stufung der Regeltransformatoren. Die lokalen Systeme werden automatisch geregelt, wobei Dispatcher vom nationalen Netzleitzentrum und von regionalen Netzleitstellen eingreifen können.

In der Diskussion wurde die Notwendigkeit einer guten Blindleistungs/Spannungsfahrweise zusätzlich zur Wirkleistungserzeugung immer wieder betont und an Beispielen veranschaulicht.

3. Ausrüstung von Netzleitstellen

In diesem Vorzugsthema wurden aus dem umfangreichen Gebiet der Netzleitstellen (auch als Regelzentren oder Lastverteilungen bezeichnet) drei Bereiche als Schwerpunkte ausgewählt: Datenorganisation und die Bedeutung der Architektur von Rechnersystemen; Einsatz von Simulatoren für die Ausbildung sowie neue Konzeptionen für Simulatoren; Vorteile und Aussichten der Netzleitstellen. Die hierarchische Struktur des Elektroenergiesystems ist eine gut aufgebaute Konzeption. Sie umfaßt die Beziehungen zwischen den EVU bis hin zu örtlich unabhängigen Gebieten in der Verteilungsebene und letztlich zu einzelnen Umspannwerken. Durch Delegieren der Steuerfunktionen in die niedrigste Ebene, in der genügend Informationen verfügbar sind, wird die Entscheidungsfindung vereinfacht und strukturiert, wodurch die günstigsten Bedingungen für schnelle Reaktionen geschaffen werden. Der Bericht 39-04 zeigt, daß am unteren Ende der Hierarchie eine entsprechende Hierarchie des Rechnersystems und der Prozeduren aufgebaut werden kann, was zu einem bedeutenden Fortschritt bei der Automatisierung des dezentralen Schaltens unter Normal- und Netzwiederaufbaubedingungen führt. Wenn man sich in der Hierarchie des Betriebsführungssystems und der entsprechenden parallelen Hierarchie des Rechnersystems aufwärts bewegt, erfordert die Integration der Handlungen zwischen den Versorgungsgebieten Informationen der Versorgungsgebiete und der entsprechenden EVU. Der Bericht 39-01 (Teil 1) demonstriert, daß eine Kommunikationstechnologie (obgleich nicht standardisiert) für den Datenaustausch zwischen den EVU anwendbar ist. Die Kommunikationskosten können jedoch in Abhängigkeit von den Zuverlässigkeitsforderungen an die Kommunikation hoch sein.

Datenorganisation

Eine neuere Untersuchung, die vom SC 39 gefördert wurde, ist zu dem Schluß gekommen, daß die Entwicklung der Technik für den Datenaustausch für die Betriebsführungssysteme von Elektroenergiesystemen eine hohe Priorität verdient. Das Gebiet des Datenaustausches zwischen den EVU kann als relativ neu angesehen werden. Wie im Bericht 39-01 (Teil 1) dargelegt ist, wird jetzt begonnen, in verschiedenen Ländern einen kontinuierlichen, in der Nähe der Echtzeit arbeitenden Datenaustausch aufzubauen. Das ist durch die gesunkenen Kosten für die kommerziell verfügbare Kommunikationstechnik möglich geworden.

Datenaustausch wird auf folgenden Gebieten praktiziert:

Energieaustausch; automatische Regelung der Elektroenergieerzeugung; Überwachung von Wirkleistung, Blindleistung, Spannung und Frequenz; Topologie des Netzes; operative Betriebsplanung. Der Mangel an einem Standard für den Datenaustausch ist vielleicht eines der wesentlichsten Probleme, die zu lösen sind, da ja verschiedene Protokolle im Augenblick zwischen den EVU verwendet werden.

Wie im Bericht 39-01 (Teil 1) ausgedrückt ist, kann der Datenaustausch zwischen den EVU nur ökonomisch werden, wenn die Verfahren und Mittel für den Datenaustausch standardisiert sind. Es wird deshalb eine Kompatibilität der Protokolle mit ISO gefordert, was eine Aufgabe der IEC ist (TC 57). Probleme sind noch die Datensicherheit, Übertragungszeiten und die Netzorganisation. Ausgetauscht werden sollten neben den aktuellen Lastverhältnissen die Übertragungsgrenzen sowie die verfügbare schnelle und langsame Reserveleistung der einzelnen Systeme.

Einsatz von Simulatoren

Obgleich sich der Einsatz von Simulatoren für die Ausbildung noch im Entwicklungsstadium befindet, finden sie ein stark anwachsendes Interesse. Eine umfangreiche und wichtige Forschungsarbeit ist von der WG 39-06 „Power System Simulators" gemacht worden. Einige Zwischenergebnisse sind im Bericht 39-01 (Teil 2) enthalten. Der Bericht zeigt, daß der häufigste Anwendungszweck für die Trainingssimulatoren die Ausbildung der Dispatcher für Störungs- und Netzwiederaufbausituationen ist. Der hierfür am häufigsten zitierte Grund ist die Seltenheit des Eintretens von Störungen und deshalb die mangelnde Erfahrung der Dispatcher auf diesem Gebiet.

Wie im Bericht 39-01 (Teil 2) erwähnt wird, besteht ein interessanter Anwendungsfall der Simulatoren darin, die Wissensbank, die für die Verfahren der künstlichen Intelligenz bei Online-Anwendungen erforderlich ist, aufzubauen. Allerdings ist die Fähigkeit, die dynamische Reaktion in Echtzeit zu simulieren, immer noch das entscheidende Problem beim Aufbau von Simulatoren für die Ausbildung.

Der Bericht 39-12 beschreibt detailliert die verschiedenen Merkmale des Simulators, der bei der EdF in Frankreich installiert ist. Dieser Simulator ermöglicht sowohl die Nachbildung des französischen 400-kV-Netzes als auch eines fiktiven regionalen Elektroenergiesystems mit den Spannungsebenen 400 kV, 225 kV, und 63 kV. Ein Simulator für die operative Planung ist im Bericht 39-09 beschrieben. Dieser Simulator wurde hauptsächlich aufgebaut, um die Effektivität der operativen Planung des norwegischen Elektroenergiesystems zu erhöhen.

Von den beiden grundsätzlichen Möglichkeiten, den Simulator getrennt aufzubauen oder in die Netzleitstelle zu integrieren, wird letztere für die Zukunft prognostiziert. Neben den bereits erwähnten Aufgaben für Simulatoren werden auch noch das Testen von Planungsergebnissen in Echtzeit und Post-Mortem-Studien genannt. Um alle Anforderungen zu erfüllen, müssen neben dem stationären Lastfluß noch alle Reglerfunktionen, d.h. das dynamische Verhalten einschließlich des Verhaltens des Netzschutzes bei Einfach- und Folgefehlern modelliert werden.

Netzleitstellen

Um die wachsende Komplexität der Handlungen im Minutenbereich bei der Betriebsführung eines Elektroenergiesystems zu erfassen, sind Verfahren der künstlichen Intelligenz (d.h. Expertensysteme) untersucht worden. Gemäß Bericht 39-15 gibt es mindestens 2 Bereiche der Betriebsführung, für die der Einsatz von Expertensystemen von Nutzen ist:

1. Unterstützen des Dispatchers in schwierigen, selten auftretenden Situationen im Elektroenergiesystem,
2. Entlasten des Dispatchers von Routinearbeiten beim Normalbetrieb.

Im Bericht 39-15 wird berichtet, daß seit Ende 1984 in der EV Schwaben der Prototyp eines Expertensystems für Online-Operationen eingesetzt wird. Es hat die Hauptaufgabe, die große Menge der Prozeßdaten mit auf Erkenntnis basierender Auswertung in eine Expertise zu überführen, die dem Dispatcher nur die wesentlichsten Meldungen vermittelt.

Aus Bericht 39-07 geht hervor, daß Entwicklungsarbeiten an 2 Projekten zur Anwendung der künstlichen Intelligenz in einem norwegischen EVU ausgeführt werden. Der Bericht 39-10 führt auch eine interessante Software an.

Einige potentielle Anwendungsgebiete von Expertensystemen werden in den Berichten 39-11, 39-13, 39-16 und 39-17 diskutiert. Beispielsweise können Expertensysteme zum Interpretieren und Verdichten der zahlreichen Störungsmeldungen, die während einer Systemstörung eintreffen können, verwendet werden. Wie im Bericht 39-15 beschrieben, werden Expertensysteme als zusätzliche Hilfsmittel, nicht aber als Ersatz für die konventionellen Funktionen von Netzleitstellen betrachtet. Die Einführung von Verfahren der künstlichen Intelligenz in die Praxis der Netzleitstellen kann einige Sorgen bereiten. Dazu gehören: Wie akzeptiert der Dispatcher die Expertensysteme; Belastung des Rechners und Rechengeschwindigkeit; Kosten für die zusätzlichen Berechnungen und die benötigten Daten. Für die Qualifizierung von Expertensystemen ist es auch erforderlich, alle Störungen im System auszuwerten, wozu selbst Experten erforderlich sind. Es wurde übereinstimmend festgestellt, daß noch einige technische und konzeptionelle Hindernisse überwunden werden müssen, bis dieses Verfahren im Echtzeitbetrieb voll genutzt werden kann. Es sei hier erwähnt, daß unmittelbar vor der 32. Session der CIGRE vom 22. bis 26. August 1988 in Stockholm ein spezielles „Symposium on expert systems application to power systems" stattfand, was die weltweite Bedeutung der Anwendung der Expertensysteme in der Elektroenergieversorgung unterstreicht. Es wird auch eine CIGRE-Publikation des TF 38-02 vorbereitet.

Der Bericht 39-04 beschreibt den erfolreichen Aufbau eines Mehrebenen-Betriebsführungssystems für ein 154-kV-Netz in Japan. Dadurch ist die Zeit, die für einige spezielle Handlungen erforderlich ist, um über 20 min reduziert worden. Bisher sind die Ergebnisse ermutigend, und die Anwendung auf ein größeres Elektroenergiesystem wird überlegt.

Der Bericht 39-06 stellt ebenfalls dar, daß Betriebsversuche die Anwendbarkeit und die ökonomischen Vorteile eines Mehrebenen-Betriebsführungssystems für das Elektroenergiesystem von CEGB (Großbritannien) demonstriert haben.

Im Anschluß an die CIGRE fand vom 5. bis 8. September 1988 in Brüssel ein IFAC-Symposium „Power systems modelling and control applications" statt, auf dem in einer Vielzahl von Beiträgen die hier anstehenden Probleme in einer noch größeren Breite dargelegt und diskutiert wurden.

Berichte der Gruppe 39

39-01 Utility data exchange and system operation training simulator. Part I: Status report on inter-utility data exchange. *I. Thurein.* Part II: System operation training simulators. *E. Handshin, U. G. Knight.* Paper presented in the name of Study Committee 39 (Power System Operation and Control)

39-02 Determination of security an quality levels in operational planning studies an interactions with real time operation. *X. Vieira Fo. J. J. G. Couri, H. J. Chipp, E. Nery, M. Hirota* (Brazil)

39-03 Security dispatching. *R. C. Burchett, H. H. Happ, W. C. Merritt, C. H. Saylor* (United States)

39-04 Computerized integrated automatic control system for electric power networks. *Y. Akimoto, T. Hayashi* (Japan)

39-05 Catering for sudden generation loss in an island utility. *F. McDyer, T. Hanson, G. McMahon* (Ireland)

39-06 CEGB research on on-line energy management systems. *M. J. Metcalfe, B. E. Murray* (United Kingdom)

39-07 Knowledge based systems for power system operation. *H. Nordgard, O. Gjerde, L. Holten, A. Maeland, E. Dehli, P. Stoa* (Norway)

39-08 Reactive power scheduling and control in the Hungarian Power system. *I. Benko, A. Somlo, I. Horvath, A. Kaszas, K. Kovacs* (Hungary)

39-09 The power system simulator approach to more effective operational planning. *J. Svoen, M. Ovreeide, A. Johannesen* (Norway)

39-10 Hierarchical stability control system in the UPG of the USSR. *L. A. Cosheev, B. I. Iofiev, V. D. Kovalev, Ja. N. Luginsky, Ju. D. Sadovsky, V. A. Semenov* (USSR)

39-11 Guidelines and means für power system operation during emergencies. *H. Glavitsch, G. Schäfer, H. Ungrad* (Switzerland)

39-12 EDF simulator for control centre operators. *C. Jeanbart, Y. Logeay, M. Musart,* (France)

39-13 New criteria for system performance considerations in SCADA and EMS systems. *S. Stabo, S. Kjerrstrom, G. Bjorkman* (Sweden)

39-14 A proposal to evaluate and compare two production cost minimization methods. *P. Burri, F. Renaud* (Switzerland)

39-15 Use of expert systems in energy control centres. *F. Hein, G. Schellstede* (Fed. Rep. Germany)

39-16 Integrated system for power demand forecast. *E. Moline, J. L. Ayuso* (Spain)

39-17 Extension of real time applications to study computers. *F. J. Arriola, J. Echavarri, R. Criado, J. R. Lezameta, C. Izcue* (Spain)

39-18 Power system performance and reactive scheduling, Part I: Voltage frequency and delivery point performance of bulk electricity Systems. *W. H. Winter, B. K. Lereverend,* Part II: Short term voltage reactive scheduling. *E. Mariani, K. Turner.* Paper presented in the name of Study Committee 39 (Power System Operation and Control)

39-19 Optimal power flow and its realtime application at the RWE energy control centre. *D. Denzel, K. W. Edwin, F.-R. Graf* (Fed. Rep. of Germany) *H. Glavitsch* (Switzerland)

EA 2915

Rundtischgespräch: Zuverlässigkeit von Elektroenergiesystemen

Berichterstatter: Dr.-Ing. *F. Berger*

In dem Rundtischgespräch wurde eine von der WG 38-03 ausgearbeitete und als CIGRE-Broschüre herausgegebene „Anwenderrichtlinie für die Zuverlässigkeitsanalyse von Elektroenergiesystemen" vorgestellt. Eine Zusammenfassung des Inhalts enthält der Bericht 38-17. Sie behandelt die Zuverlässigkeit auf den Gebieten der Elektroenergieerzeugung und -übertragung vom Systemstandpunkt aus. Das Dokument beginnt mit einer Reihe von Grundkonzepten, um einige Zuverlässigkeitsziele zu definieren und diskutiert verschiedene Zuverlässigkeitskriterien, die zur Erfüllung dieser Ziele verwendet werden sollen. Die Zuverlässigkeitskennziffern für diese Kriterien werden definiert und die Methoden zur Berechnung dieser Kennzahlen zur Bewertung der Zuverlässigkeit für ein komplexes System werden dargelegt.

Die in dieser Methodik verwendeten Modelle basieren auf einer Reihe von Parametern, die das Verhalten der Kraftwerks- und Übertragungsausrüstungen charakterisieren. Zur Einschätzung der Werte dieser Parameter ist es notwendig, Daten des Verhaltens der Systemkomponenten zu sammeln. Zwei Kapitel sind folglich der Erfassung und Verarbeitung solcher Daten gewidmet (Kraftwerksausrüstungen und Übertragungsausrüstungen). Die Betrachtung von Mehrfachausfällen führt zu einer Diskussion von Abhängigkeitskonzepten mit besonderer Betonung der Wettermodellierung, der ein besonderer Anhang I gewidmet ist. Ein Anhang II über die Modellierung von Umspannwerken dient der Bewertung des Einflusses der unterschied-

lichen Umspannwerksanlagen auf die Zuverlässigkeit des Übertragungssystems.
Großer Wert wurde auf die Vereinheitlichung der Begriffe und Definitionen gelegt, die auf diesem sich schnell entwickelnden Gebiet verwendet werden. Die gegenwärtig verwendete Terminologie für die Zuverlässigkeitsanalyse von Elektroenergiesystemen ist im Anhang III angegeben.
Diese Anwenderrichtlinie legt den Grundstein für eine breitere Anwendung der Methoden der Zuverlässigkeitsanalyse bei der Planung, der Projektierung und dem Betrieb von Elektroenergiesystemen.

EA 2916

SC 22: Freileitungen

Berichterstatter: Dr. *H. Streubel*

Schwerpunkte:

1. Stochastische Bemessung von Freileitungen
2. Betriebserfahrungen mit neuen Werkstoffen
3. Die Freileitungskonstruktion unter dem Einfluß der Wartungs- und Instandhaltungstechnologie

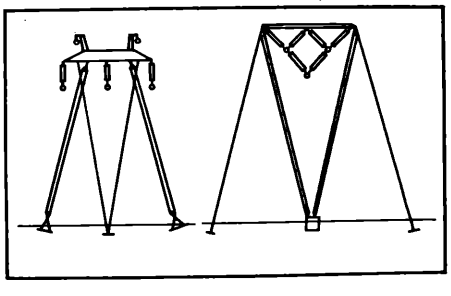
Ergebnisse:

1. Stochastische Bemessung von Freileitungen

1.1. Stochastische Verfahren bei der elektrischen Bemessung

Die Zuverlässigkeit einer Freileitung als Ganzes hängt von den Teilzuverlässigkeiten ihrer Komponenten ab; Luftstrecken und die Isolatorenketten bestimmen dabei die elektrische Festigkeit.
Die technische und ökonomische Integration der Teilzuverlässigkeiten mit Hilfe stochastischer Methoden ermöglicht eine Optimierung der Gesamtzuverlässigkeit, wodurch Kosteneinsparungen und Trassenbreitenreduzierungen erreicht werden können. So wurden neue Leitungskonstruktionen vorgestellt (Bild 1), die eine Reduzierung der Trassenbreite bis zu 25% bei Einfachleitungen (400 kV), eine um 10% niedrigere Impedanz und um 50% niedrigere elektrische und magnetische Feldstärken ermöglichen bei gleichzeitiger Reduzierung der Errichtungskosten (6% je MW).
Es wurde aber auch vor einem zu großen Optimismus gewarnt, da die unterschiedlichen Bedingungen jedes Landes für die Lebensdauer einer Leitung beachtet werden müssen.
Für die Berechnung der Überschlagwahrscheinlichkeit aus Schaltspannungspegel und Wind wurde eine Formel angegeben.

Bild 1. 420-kV-Mast. Einfachleitung



1.2. Meteorologische Beanspruchungen

Insbesondere wurde der Einfluß von Wind, Schnee und Eis betrachtet, wobei langjährige statistische Untersuchungen zur Ermittlung der Eislasten erforderlich sind.
Als Windgeschwindigkeiten wurden für Mitteleuropa als 1-h-Wert 16 m/s und als 10-min-Wert 19 m/s angegeben, für Kanada 22 m/s und 32 m/s. Für die gemessenen Eislasten wurden für Mitteleuropa mit 20 N/m im Mittel und 100 N/m als Höchstwerte (kritische Werte) angegeben, wobei diese Werte auch stark von der Höhenlage abhängen (gemessener Extremfall 250 N/m).
Zur Gewinnung von Eisdaten werden von den USA elektronische Messungen von Wind, Feuchte, Luftdruck, Temperatur, Eisdicke über 4 Jahre vorgenommen. Von Norwegen wurde dagegen ein Vorschlag gemacht, der die Zuwachsraten des Eisansatzes berücksichtigt mit Abtauen im 3-h-Intervall, wodurch keine jahrelangen Messungen mehr erforderlich seien.

1.3. Statistische Lastannahmen

Werden die Bemessungsvorschriften nach DIN und den stochastischen Verfahren nach IEC verglichen, so ergibt sich, daß die Zuverlässigkeitsklassen nach IEC nur einen geringen Einfluß auf die Kosten der Leitung haben. Die stochastische Bemessung bereitet zur Zeit noch Schwierigkeiten und ist verbesserungsbedürftig.

2. Betriebserfahrungen mit neuen Werkstoffen

Es wurde die zusätzliche Anbringung von Horizontalverstrebungen in den Eckstielen der Maste bzw. waagerechte Streben zwischen den K-Streben angegeben, dadurch soll eine Erhöhung der Bruchlast bzw. eine Verringerung des Materialeinsatzes ermöglicht werden. Bei der Mastberechnung sind neben der Stahlqualität, Zahl der Verstrebungen usw. auch die Länge der Winkelsektionen und die Anzahl der zu bauenden Maste gleicher Art zu berücksichtigen, wobei der Einzelmast eines Typs durchaus teurer werden kann als bei einer anderen, bei z. B. 200 Masten aber eine Umkehrung der Kostenrelation eintritt.
Für die Reparatur von Mastfundamenten wurden neue Methoden vorgestellt, so z. B. Ausfüllen von Rissen mit Epoxidharz und Überziehen des gesamten Fundaments mit einer 2 mm dicken elastischen Schicht (Reparaturzeit eines Fundaments 1 Tag). Eine andere Methode ist die Sicherung von seewassergeschädigten Fundamenten durch stahlfaserverstärkten Spritzbeton.
Bei der Verwendung von Lichtleitluftkabeln werden sowohl metallisch geschirmte als auch dielektrische (ungeschirmte) eingesetzt. Da sie eine geringe Selbstdämpfung haben, neigen sie sehr zu Vibrationen. Auf die Auswahl der Dämpfer, den Ort ihrer Anbringung und den Anschluß der Kabel ist deshalb großer Wert zu legen. Obwohl extra erfragt, wurden keine neuen Lösungen für Isolatoren vorgestellt.

3. Wartung und Instandhaltung

Vorgestellt wurden Wartungsroboter für Freileitungen sowohl für Mittel- als auch für Hochspannungsleitungen. Sie ermöglichen durch Bedienung von Erde alle Arbeiten von Isolator- oder Abstandshalterwechsel bis zur Reinigung unter Spannung.
Auch Hubschrauber werden für diese Arbeiten eingesetzt: direktes Arbeiten vom Hubschrauber aus oder Absetzen von Monteuren auf Leiterseilen.
Hubschrauber werden auch zum Abspritzen von Isolatoren unter Spannung und zur Eisbeseitigung mit Heißwasser eingesetzt.

EA 2912

SC 12: Transformatoren

Berichterstatter: Dr.-Ing. *J. Schmidt*

Schwerpunkte:

1. Verlustbewertung von Transformatoren und ihr Einfluß auf die Auslegung und die Materialauswahl
2. Umweltbeeinflussungen durch Transformatoren und Drosseln
3. Allgemeine Diskussion: Statische Aufladung von OD-gekühlten Transformatoren

Ergebnisse:

1. Verlustbewertung, Verlustabsenkung, Verlustmessung
(Berichte: 12-01, 12-03, 12-04, 12-05, 12-06, 12-07, 12-09, 12-10)

Die weltweiten Anstrengungen zur Energieeinsparung führten auch für Transformatoren zu einer neuen Auslegungsphilosophie. Gefragt ist nicht länger der massearme Großtransformator mit geringmöglichen Gestehungskosten, sondern der verlustarme Transformator.
Stimuliert wird das durch die hohe Bewertung der im Laufe der Betriebszeit eingesparten Transformatorenverluste in den Tenderauswertungen, die in manchen Ländern die Höhe des Gestehungspreises erreicht (12-04).
Das Fehlen einer allgemein akzeptierten Bewertungsrichtlinie für die Kapitalisierung der Transformatorenverluste erweist sich international sowohl für den Hersteller als auch für den Betreiber als ungünstig. In den USA wird von EPRI im Frühjahr 1989 eine erste Anwendungsrichtlinie für die Verlustbewertung veröffentlicht. Haupthinderungsgründe für eine allgemein akzeptierte Verlustbewertung sind die unsicheren Annahmen über die zukünftigen Energieerzeugungskosten und die finanziellen Manipulationen bei der Auftragsvergabe. Bei der derzeitigen hohen Verlustbewertung ist der Einsatz von hochwertigem Hi-Bi-Blech allgemein übliche Praxis. Von verschiedenen europäischen Transformatorenherstellern wird beklagt, daß solche Bleche nur aus Japan mit etwa 5 Monaten Lieferzeit erhältlich sind. Die europäischen Stahlhersteller wurden aufgefordert, ihre Anstrengungen

zur Herstellung von hochwertigen Hi-Bi-Blechen zu verstärken.
Verbesserte Verarbeitungstechnologien und neue Kernkonstruktionen führten ebenfalls zur Absenkung der Leerlaufverluste.
Die Step-lap-Schichtung führte bei Shell-type-Transformatoren zu 5 bis 8% Verlustsenkung, während sie bei kleineren Transformatoren vom üblichen Kerntyp bei Verwendung hochwertiger Bleche praktisch keine Verlustsenkung brachte. Durch sorgfältige Be- und Verarbeitung der Kernbleche, insbesondere durch gratfreies Schneiden, wird ein Anstieg der Kernverluste durch die Blitzspannungsprüfung der Transformatoren verhindert. Die derzeitig relativ niedrigen Weltmarktpreise für Cu und Fe führen in Verbindung mit der relativ hohen Verlustbewertung zur Herstellung von Transformatoren mit hohem Einsatz an Aktivmaterial. Kerninduktionen von 1,35 bis 1,45 T sind auch für Großtransformatoren jetzt übliche Werte, zumal die dadurch erzielbaren Reduzierungen der Geräuschpegel auf Grund erhöhter Umweltanforderungen zusätzlich honoriert werden oder notwendige Voraussetzung zur Erfüllung der Tenderforderungen sind.
Die Reduzierung der Kurzschlußverluste erfolgt teilweise durch erhöhten Querschnitt des Wickelkupfers (vorzugsweise als Drillleiter), vor allem aber durch die Verminderung der Zusatzverluste in inaktiven Teilen und Kessel (12-06).
Die Maßnahmen zur Reduzierung der Zusatzverluste haben jetzt in erster Linie das Ziel, diese Verluste möglichst weitgehend zu verhindern, während bisher die Vermeidung lokaler Heißstellen im Vordergrund stand. Die 3-dimensionale Magnetfeldberechnung wird für solche Zielstellungen allgemein als eine unentbehrliche Voraussetzung erachtet. Der erhöhte Cu-Einsatz (Drilleiter) und die stark reduzierten Zusatzverluste in inaktiven Teilen und Kessel führen auch bei Transformatoren der mittleren Leistungsgröße (bis 100 MVA) jetzt zu cos φ-Werten von etwa 0,02, was erhöhte Ansprüche an die Qualität und Genauigkeit der Verlustmeßtechnik stellt.
Bei Leerlaufverlustmessungen mit 1,15-facher Nennspannung treten häufig starke Verzerrungen der Kurvenform der Spannungsquelle auf, die mit den bekannten Formeln nicht zu korrigieren sind und zu großen Meßfehlern führen. Da keine IEC-Standards über Anforderungen und Stabilität der Spannungsquellen bestehen, haben einige Länder ihre Anforderungen in nationalen Standards niedergelegt. Ein Beispiel wird im Bericht 12-01 gegeben, in dem die verzerrte Spannungsform durch eine große Kondensatorenbank geglättet und zusätzliche Filter für die 3. und 5. Harmonische in den Prüfkreis eingebaut werden.
Bei steigenden Betriebstemperaturen sinken die Leerlaufsverluste infolge abnehmender Wirbelstromverluste. Eine einheitliche Festlegung dieser Reduzierung konnte nicht erzielt werden.
Es wurde deshalb vorgeschlagen, auch weiterhin die bei Raumtemperatur gemessenen Leerlaufverluste als Bezugsgröße für die Verlustbewertung zu belassen.
Die Addition der getrennt gemessenen Leerlauf- und Kurzschlußverluste ergibt einen höheren Wert als der der Gesamtverluste eines in Betrieb befindlichen Transformators.
Im Rückspeise-Verfahren (Back-to-back-Methode) wurden 3 bis 10% niedrigere Gesamtverluste als bei getrennter Messung erzielt (12-05). Trotzdem wird aus Gründen der einfacheren Ausführbarkeit empfohlen bei der getrennten Verlustmessung zu bleiben. Verlustmessungen sollten mit einer Genauigkeit von 2 bis 3% (bei großen Transformatoren) ausführbar sein. Zur Zeit sind Meßeinrichtungen erhältlich, die 1% Genauigkeit gewährleisten.

2. Umweltbeeinflussung durch Transformatorengeräusche, Ölausfluß und Feuer, Nutzung der Transformatoren-Verlust-Wärme
(Berichte: 12-02, 12-08, 12-11)

Mit der Senkung der Kerninduktion auf 1,3 bis 1,4 T, in Verbindung mit dem Einsatz von hochwertigen Kernblechen und der Einführung der Step-lap-Schichtung, sind Geräuschprobleme international selten geworden. Wenn solche auftreten, so werden sie meist durch die Hilfseinrichtungen (Lüfter) verursacht. Die Geräusche moderner Transformatoren liegen jetzt 15 bis 20 dB (A) unter den NEMA-Werten.
Bei Transformatoren mit Kerninduktionen unterhalb 1,4 T überwiegen die lastabhängigen Wicklungsgeräusche die Kerngeräusche.
Im Bericht 12-08 wird eine Beziehung zur Abschätzung des durch die Wicklungsgeräusche hervorgerufenen Schall-Leistungspegels angegeben. Zur genaueren Messung der Schallabstrahlung von Transformatoren unter ungünstigen Umgebungsbedingungen werden neue Meßmethoden empfohlen.
Im Bericht 12-02 werden japanische Studien über die bei inneren Fehlern in Transformatoren auftretenden Drücke und Druckverläufe sowie Maßnahmen zur Verhinderung einer Kesselexplosion beschrieben.
Zur Verhinderung einer Feuerausbreitung hat Japan genaue Vorschriften über Geräteaufstellung, Höhe der Trennwände, Entfernungen, Sprühwasserschirm usw. erlassen. Um Katastrophen durch Trafoexplosionen und Feuer zu vermeiden, wurde ein Detektor zur kontinuierlichen Bestimmung des im Öl gelösten Wasserstoffes im Bereich größer 100 ppm entwickelt, der entstehende Fehler beim Erreichen einer bestimmten Grenzkonzentration (1000 ppm) durch Abschalten des Transformators begrenzen soll. Bei der experimentellen Erprobung wurden entsprechende Fehler in einer Zeit von 10 min bis zu einigen Stunden erkannt.
Die Transformatoren-Verlustwärme wird nur in der DDR in großem Umfang genutzt, in anderen Ländern bisher nur in sporadischen Fällen.

3. Elektrostatische Aufladungen

In verschiedenen Ländern sind nach relativ kurzer Betriebszeit gehäuft große, OD-gekühlte Transformatoren ausgefallen.
Die Ursache für diese Defekte konnte eindeutig auf elektrostatische Aufladungen von Teilen der Transformatorenisolierung zurückgeführt werden, die durch Ladungstrennung im schnell bewegten Isolieröl hervorgerufen werden. Die Aufladung wird im wesentlichen durch die Höhe der Strömungsgeschwindigkeit des Isolieröles in den Kühlkanälen der Wicklung und im äußeren Kühlkreislauf bestimmt, aber auch durch Turbulenzen, Oberflächenrauhigkeiten der Begrenzungswände der Kühlkanäle und durch die Elektrisierungsneigung und -eigenschaften des Öles selbst. Die bekanntgewordenen Ausfälle beziehen sich sowohl auf Shell-typ- als auch auf Kerntyp-Transformatoren.
Gegenwärtig existieren mehrere Meßtechniken zur Bestimmung der Aufladungsneigung der Öle und zur Ermittlung der Aufladung von Transformatoren (Ableitstrom), jedoch noch kein Vorschlag zu einer Unifizierung und Standardisierung dieser Verfahren. Auffällig ist, daß diese Ausfälle nach relativ kurzer Betriebszeit auftreten, was vermutlich mit der erhöhten Aufladungsneigung der im Anfangszustand der Alterung befindlichen Öle im Zusammenhang steht.

Berichte der Gruppe 12

12-01 Measurement of iron loss in large power transformers. *R. Malewski, D. Train* (Canada), *R. Kosztaluk* (Poland)
12-02 Prevention of tank rupture due to internal fault of oil-filled transformer. *T. Kawamura, M. Ueda, K. Ando, T. Maeda, Y. Abiru, W. Watanabe, K. Moritsu* (Japan)
12-03 Loss evaluation and the use of magnetic and electromagnetic shields in transformers. *R. Komulainen, H. Nordman* (Finland)
12-04 Transformer loss reductions. *T. H. Harrison, B. Richardson* (United Kingdom)
12-05 Low loss design and its topics. *A. K. Bose, G. J. Hulsink, C. Kroon* (Netherlands)
12-06 Losses in rectifier transformers: Factory test losses in comparison with actual operating losses. *J. F. Ravot, J. Kreuzer* (Switzerland)
12-07 Losses in tanks of large power transformers caused by magnetic field and methods of their reduction. *Ya, I. Furman, V. L. Bereza, V. F. Ivankov, L. P. Nizhnik* (USSR)
12-08 Study of noise emitted by power transformers based on today's viewpoint. *E. Reiplinger* (Fed. Rep. of Germany)
12-09 Criteria for a better evaluation of real losses in power Transformers. *A. Babare, A. Bossi, S. Calabro, G. Caprio, S. Crepaz* (Italie)
12-10 Losses in transformers and reactors. *R. Beaumont* Paper presented in the name of Study Committee 12 (Transformers)
12-11 Environmental considerations of transformers and reactors. *H. Kan, Y. Muira* (Japar). Paper presented in the name of Study Committee 12 (Transformers)

EA 2913

SC 13: Schaltgeräte

Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. *H. Hänisch*

Schwerpunkte:
1. Überwachungs- und Diagnosegeräte
2. Nichtstandardisierte Bedingungen und Beanspruchungen
3. Schalten kapazitiver und kleiner induktiver Ströme

Ergebnisse:

1. Überwachungs- und Diagnosegeräte
(Berichte: 13-03, 13-04, 13-09, 13-10 und 13-11)

Die Zuverlässigkeit von Leistungsschaltern erlangte international in den letzten 10 Jahren wachsende Bedeutung. Es wird so-

wohl von Herstellern als auch von Betreibern eingeschätzt, daß die Zuverlässigkeit moderner SF_6-Schalter gut ist.
Mit dem Ziel der Früherkennung fehlerhafter Zustände (unter anderem auch nach erfolgter Schalterrevision) und der Reduzierung des Wartungsaufwandes wurden von namhaften Herstellern und Betreibern Überwachungs- und Diagnosegeräte und -methoden entwickelt und eingesetzt.
Zum notwendigen Umfang der Diagnostik bei Leistungsschaltern besteht sowohl bezüglich der zu überwachenden Parameter als auch bezüglich des nachträglichen Einbaues in bereits installierte Geräte international keine Übereinstimmung der Ansichten. Erschwert wird die Anwendung der Diagnosetechnik beim Betreiber dadurch, daß die Zuverlässigkeit der entwickelten Einrichtungen, insbesondere der elektronischen Systeme noch deutlich geringer ist als die Zuverlässigkeit der zu überwachenden Leistungsschalter.
Die im DDR-Beitrag (TH Ilmenau/TRO 13-10) vorgeschlagene Trennung in Hersteller-Betreiber-Diagnostik erwies sich in der Diskussion als tragfähig.
Im Rahmen der CIGRE werden die Arbeiten zur Überwachung und Diagnostik auf dem Gebiet der Schaltgeräte fortgesetzt.

2. Nichtstandardisierte Bedingungen und Beanspruchungen

(Berichte: 13-02, 13-03, 13-12, 13-13, 13-14 und 13-16)

Auf Grund der wachsenden Komplexität der Netze treten nichtstandardisierte Bedingungen und spezielle Beanspruchungen von Schaltgeräten in immer größerem Maße auf. Zu den jeweiligen konkreten Einsatzbedingungen sind Abstimmungen zwischen Betreiber und Hersteller bezüglich des Einsatzes von Standardgeräten oder Modifikationen und bezüglich des Nachweises der Einhaltung der Bedingungen durch Prüfungen, insbesondere in Hochleistungsprüffeldern, zu treffen.
Schwerpunkt der eingereichten Berichte und der Diskussion zu nichtstandardisierten Bedingungen und Beanspruchungen waren:
Das Einschalten unbelasteter Transformatoren und Drosseln und damit zusammenhängende Fragen der Reduzierung des Einschaltstromes durch Synchronschaltung mit Synchronisiereinrichtung oder durch Verwendung von Einschaltwiderständen bzw. Metalloxidvaristoren.
Diskutiert wurden besonders die Möglichkeit der Einhaltung einer Genauigkeit von $\pm$ 1 ms und der Zuverlässigkeit beim Synchronschalten sowie Probleme der mechanischen Zuverlässigkeit und der erhöhten Belastung der Schalterantriebe beim Einsatz von Schaltwiderständen sowie die Vor- und Nachteile der genannten Varianten.
Der Einsatz von Leistungsschaltern in Gebieten mit Umgebungstemperaturen bis —50/—60 °C und damit zusammenhängende Fragen der Reduzierung des Schaltvermögens bei tiefen Temperaturen sowie der bei diesen Temperaturen durchzuführenden Prüfungen. Namhafte Schalterhersteller führen zusätzlich mechanische Lebensdauerprüfungen bei tiefen Temperaturen durch und sehen keine Notwendigkeit für spezielle Leistungsprüfungen bei den Temperaturen, obwohl dazu in Einzelfällen technische Möglichkeiten bestehen. Die Tieftemperaturprüfungen finden allgemein in speziellen Kältekammern statt, der Aufwand kann jedoch erheblich reduziert werden, indem die Kältekammer durch eine kleinräumige Umhausung des Schalters mit N_2-Kühlung ersetzt wird.

3. Schalten kapazitiver und kleiner induktiver Ströme

(Berichte: 13-01, 13-05, 13-06, 13-07, 13-08 und 13-15)

Das Schalten kleiner induktiver und kapazitiver Ströme ist seit nunmehr über 20 Jahren Vorzugsthema im SC 13. Die Verwendung großer Paralleldrosseln und Kondensatorenbänke zusammen mit der Anwendung von Lichtbogenmodellen zur Berechnung des Schaltverhaltens führt dazu, daß dieses Thema auch weiterhin aktuell bleibt.
Die sehr guten Löscheigenschaften von SF_6-Blaskolbenschaltern können beim Schalten kleiner induktiver Ströme zur Unterbrechung vor dem natürlichen Nulldurchgang führen. Durch die dann beim Wiederzünden als Folge der transienten Wiederkehrspannung auftretenden Überspannungen können ggf. andere Betriebsmittel gefährdet werden.
Führende Schalterhersteller und große Energieversorgungsunternehmen traten im Ergebnis von ausgewählten Experimenten im Netz und in Prüffeldern sowie von Berechnungen für spezielle Netzbedingungen den Gegenbeweis an, ohne eine Verallgemeinerungsfähigkeit vornehmen zu können.
Auch künftig müssen für alle konkreten Einsatzfälle über halbempirische Berechnungsverfahren/Lichtbogenmodelle Abschätzungen zu den auftretenden Überspannungen vorgenommen bzw. risikobehaftete Netzversuche durchgeführt werden. Aussichten auf standardisierte Prüfungen für derzeitige Fälle bestehen nach übereinstimmender Meinung nicht.
Das Schalten kleiner induktiver Ströme mit Vakuumschaltern gilt international durch den Einsatz von Metalloxidableitern als gelöst. Die vielfach diskutierten Rückzündungen treten auch bei Schaltgeräten mit anderen Löschprinzipien, z. B. ölarmen Schaltern, auf.
Für den Nachweis des Schaltens kapazitiver Ströme werden die bisherigen Prüfvorschriften entsprechend den IEC-Empfehlungen als unzureichend eingeschätzt. Bei neuen schärferen Prüfvorschriften sollten die Anzahl der Prüfungen und die Prüfspannungen vergrößert und der Phasenwinkel von Prüfung zu Prüfung reduziert werden.

Berichte der Gr. 13

13-00 *Damstra, G. C.:* Special report for group 13
13-01 *Dufournet, D.* (France): Arc modelling applied to small inductive currents interruption
13-02 *Moraw, G.*, a.o. (Australia): Point-on-wave controlled switching of high voltage circuit-breakers
13-03 *Stokes, A. D.*, a.o. (Australia): Circuit-breaker diagnostics
13-04 *Barkan, P.*, a.o. (United States): Methodology for monitoring the condition of high voltage circuit-breakers
13-05 *O'Leary, R. P.*, a.o. (United States): Evaluation of methods for controlling the overvoltages produced by the energization of a shunt capacitor bank
13-06 *Nakanishi, K.*, a.o. (Japan): Small current interruption phenomena and recent progress of gas circuit-breaker
13-07 *Portela, C. M.*, a.o. (Brazil): A study of methods and models for the simulation of reactor switching
13-08 *Milisa, A.* (Yugoslavia): Vacuum contactor modelling at interruption of small inductive currents on the basis of experimental investigation in real circuits with HV motors and reactors
13-09 *Jones, G. R.*, a.o. (United Kingdom): Circuit-breaker monitoring using optical fibre based systems
13-10 *Noack, F.*, a.o. (German Democratic Republic): Computer-aided diagnostic system for high-voltage circuit-breakers
13-11 *Jeanjean, R.*, a.o. (Canada): Electronic system for controlling and monitoring the mechanical and elektrical integrity of HV circuit-breakers
13-12 *Andersen, E.*, (Denmark/Sweden): Synchronous energizing of shunt reactors and shunt capacitors
13-13 *Janssen, A. L. J.* (Netherlands): Controlling the transient currents and overvoltages after the interruption of a fault near shunt capacitor banks
13-14 *Widl, W.*, a.o. (Switzerland): Behaviour of SF_6-breakers at extremely low temperatures
13-15 *Möller, K.*, a.o. (Federal Republic of Germany): Characteristics of gas blast circuit-breakers influencing reignitions when interrupting small inductive currents
13-16 *Reckleff, J. G.*, a.o. (United States/Switzerland): Application of metal-oxide varistors on an 800 kV circuit-breaker used for shunt reactor switching

EA 2921

Berechnung von Ausgleichsvorgängen mit Personalcomputer

H. Pundt, KDT, Dresden

Diskussionsbeitrag im SC 38

Zur Simulation von Ausgleichsvorgängen in Elektroenergiesystemen werden meist Großrechner und umfangreiche Programme verwendet, die nur von wenigen Experten auf den entsprechenden Spezialgebieten genutzt werden können. Diese Berechnungen haben in den letzten Jahren, bedingt durch die steigende Auslastung aller elektrotechnischen Betriebsmittel und den Betrieb der Elektroenergiesysteme an den Grenzen (Spannungshaltung, Frequenzhaltung und Stabilität) sowohl für die operative Betriebsführung als auch bereits in der Planungsphase immer größere Bedeutung weltweit erlangt, wie viele CIGRE-Beiträge zeigen. Damit wird auch der Nutzerkreis für derartige Berechnungen immer größer. Deshalb wurde an der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden vor einigen Jahren bereits mit der Entwicklung von Programmen für Personalcomputer (PC), aufbauend auf den bei der Erstellung von Großrechnerprogrammen gewonnenen Erkenntnissen der Modellierung des Elektroenergiesystems mit Zustandsgleichungen, begonnen. Dabei wurde schnell festgestellt, daß eine einfache Übertragung der Großrechnerprogramme auf Personalcomputer nicht den gewünschten Effekt bringt. Die Möglichkeiten der PC bezüglich der Dialoggestaltung erfordern eine Neukonzipierung der Programme. Eine leichte und übersichtliche Dialogarbeit und Menüführung ist von ausschlaggebender Bedeutung, damit alle Elektroingenieure die Programme problemlos nutzen können. Wesentlich ist auch eine komfortable Graphik, die alle berechneten Größen zeitab-

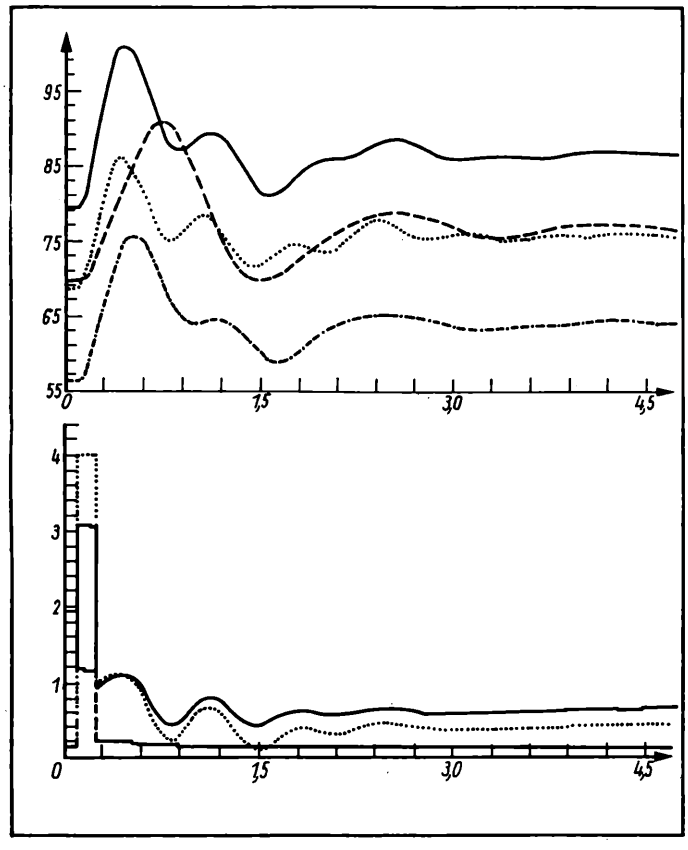


Bild 1
Rechenergebnisse mit dem PC-Programm NEDYN im 380/220-kV-Netz der DDR
a) $\delta = f(t)$
b) $I = f(t)$
δ in Grad, t in s, I in kA

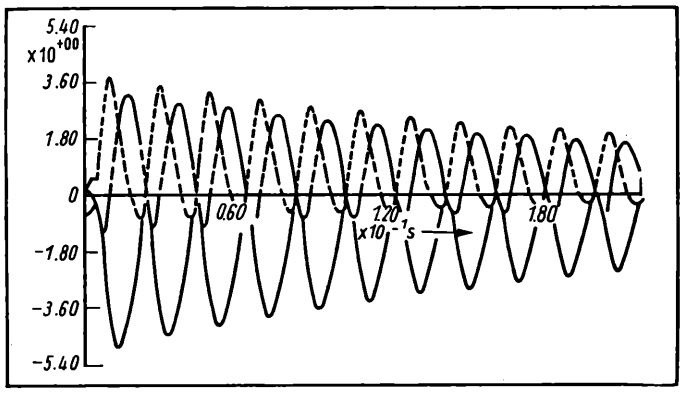


Bild 2
Ergebnisse einer Kurzschlußstromberechnung mit dem Programm PC-EMMA an einem Kraftwerksblock
——— i_a in kA
· · · · · · i_b in kA
– – – – i_c in kA

derartige Vorgänge völlig ausreichend ist [3]. Bild 2 zeigt die mit PC-EMMA berechneten Verläufe der Kurzschlußströme in allen 3 Leitern auf der 380-kV-Seite eines 500-MW-Generators, wobei das Phänomen ausbleibender Nulldurchgänge unter speziellen Betriebsbedingungen von besonderem Interesse war.

Ein drittes Programm PC-KURT ermöglicht die Berechnung von Kurzschlußstromverläufen in großen Elektroenergiesystemen, wobei im Gegensatz zu standardmäßigen Berechnungen der Kurzschlußströme nach TGL 200-0602 vor allem die Gleichstromglieder und die Teilkurzschlußströme exakt berechnet werden. Hier wurde zielgerichtet die im nachfolgendem Diskussionsbeitrag beschriebene Time scale modelling angewandt. Abschließend ist unsere Meinung, daß PC-Programme zur Simulation von Ausgleichsvorgängen in Elektroenergiesystemen in allen Zeitbereichen neben den umfangreichen Großrechnerprogrammen in der Zukunft einen festen Platz einnehmen werden.

Literatur

[1] *Erlich, I.:* Kurzcharakteristik des Programmes NEDYN für Büro- und Personalcomputer, TU Dresden, Sektion Elektrotechnik 1987
[2] *Erlich, I.:* Berechnung elektromechanischer Ausgleichsvorgänge mit Personalcomputern. Symposium Okt. 1988 in Varna
[3] *Lau, B.:* Kurzbeschreibung — Das Programmpaket PC-EMMA. TU Dresden, Sektion Elektrotechnik 1987

EA 2918

Time-scale-modelling zur effektiven Berechnung von Ausgleichsvorgängen

H. Pundt, KDT, Dresden

Diskussionsbeitrag im SC 38

hängig auf dem Bildschirm darstellt und damit eine sofortige Interpretation der Ergebnisse ermöglicht.

Mit diesen Randbedingungen entstand so das PC-Programm NEDYN für die Simulation elektromechanischer Ausgleichsvorgänge im Kurz- und Mittelzeitbereich, das bereits erfolgreich für Routineuntersuchungen in der DDR eingesetzt wird [1] [2]. Drei verschiedene Synchronmaschinenmodelle (5., 4. und 2. Ordnung), alle IEEE-Erregerreglermodelle, nichtlineare Lastcharakteristiken und Unterprogramme zur Berücksichtigung der elektromagnetischen Sättigung der Synchronmaschinen stehen zur Verfügung. Das Programmpaket NEDYN ist für 240 Knotenpunkte, 350 Leitungen und Regeltransformatoren und bis zu 50 Synchronmaschinen dimensioniert. Es benötigt dabei etwa 300 KByte Speicherplatz und ist lauffähig auf allen IBM-kompatiblen PC. Die Berechnung des stationären Lastflusses als Ausgangszustand erfolgt mit dem komplexen Lastflußprogramm LEIF, wobei die Daten und Ergebnisse automatisch übernommen werden.

Bild 1 zeigt einige berechnete Schwingkurven bei einem dreipoligen Kurzschluß im 380/220-kV-Netz der DDR mit 190 Knoten und 37 Generatoren. Dargestellt sind die Polradwinkelverläufe von 4 verschiedenen Generatorgruppen und die Ströme über 3 verschiedene Transformatoren bzw. Leitungen im Netz. Selbstverständlich lassen sich in dieser Form alle berechneten elektrischen und mechanischen Größen im gesamten Netz ausgeben.

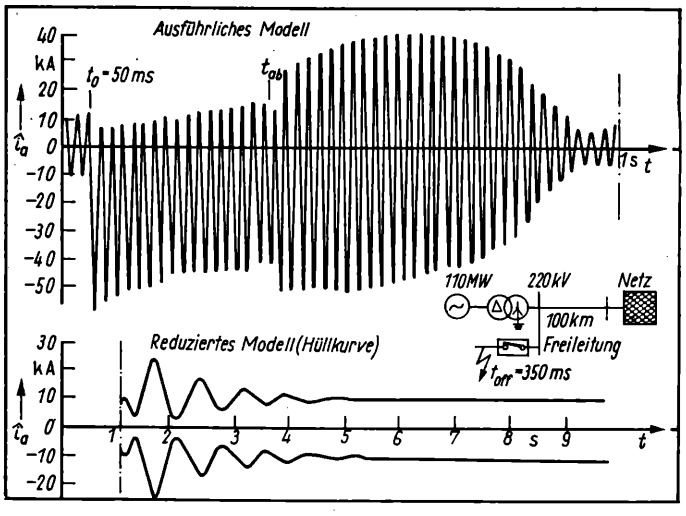
Ein zweites Programm, genannt PC-EMMA wurde für die Berechnung von elektromagnetomechanischen Ausgleichsvorgängen entwickelt. Ausführliche Generatormodelle 7. Ordnung, Differentialgleichungen auch für die Netzelemente, Berücksichtigung der Sättigung sowohl bei den Synchronmaschinen als auch bei den Transformatoren sowie frequenzabhängige Freileitungsparameter können als charakteristische Merkmale des Programms genannt werden. Das Programm ist geeignet zur Berechnung von kleineren Teilnetzen (5 Generatoren, 5 Asynchronmaschinen, 30 Leitungen, 10 Transformatoren), was jedoch für

Im Bericht 38-03 wird beschrieben, daß es möglich ist, mit Hilfe variabler Integrationsschrittweiten, Ausgleichsvorgänge in einem großen Zeitbereich zu berechnen. Der Modellierungs-, Rechen- und Datenaufbereitungsaufwand ist jedoch bei der Berechnung von Störungsabläufen von $t = 0$ bis in den Nachhavariezustand trotzdem sehr hoch. An der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden wurde deshalb ein anderer Weg gegangen und durch eine Analyse der Ausgleichsvorgänge eine Systematik geschaffen, die eine optimale Modellbildung auf der Grundlage der physikalischen Gesetzmäßigkeiten des Schwingungsverhaltens ermöglicht [1]. Mit der Methode der Zeitscalierung (time-scale-modelling) ist es am anschaulichsten möglich, das Elektroenergiesystem in Teilsysteme zu zerlegen, wobei die einzelnen Schritte zur Modellreduktion sehr anschaulich mit der „singular perturbation theory" gezeigt werden können [2]. Als Ergebnis erhält man 3 verschiedene Teilmodelle für elektromagnetische, elektromagnetomechanische und

elektromechanische Ausgleichsvorgänge (three-time scale modelling). Rechenprogramme, die hierauf basieren, ermöglichen die Berechnung nur eines Zeitabschnittes, wobei der vorhergehende schnelle Vorgang als bereits abgeklungen und der folgende langsame Vorgang als noch nicht begonnen angenommen wird. Für viele in der Praxis zu lösende Aufgaben sind diese Programme ausreichend, weil sie einfach und schnell sind, nur die tatsächlich den Vorgang beeinflussenden Daten erfordern und dabei eine zufriedenstellende Genauigkeit erreichen, wie auch mit den Programmpaketen EMMA, KURT und EMIL bereits bewiesen wurde [3]. In einigen wenigen Fällen kann es jedoch erforderlich werden, die Wirkung der schnellen Teilvorgänge auf die langsameren zu berücksichtigen, d.h. den Vorgang bis in den Nachhavariezustand mit genauen Modellen zu rechnen. So z.B., wenn der vom schnellen Teilsystem hervorgerufene „back swing effect" bei der Untersuchung der transienten Stabilität von Bedeutung ist oder die Mittelzeitdynamik den Vorgang im Langzeitbereich beeinflußt. In diesen Fällen ist es möglich, die Teilmodelle zu koppeln. Begonnen wird die Berechnung mit dem schnellen Teilsystem. Nach Abklingen der schnellen Vorgänge kann auf das zweite langsamere Modell umgeschaltet werden, wobei die Integrationsschrittweite beträchtlich vergrößert werden kann. Bild 1 demonstriert diese Vorgehensweise. An der 220-kV-Sammelschiene des über eine Freileitung an das starre Netz angeschalteten 110-MW-Blocks tritt ein dreipoliger Kurzschluß auf, der vom Schutz vorschriftsmäßig abgeschaltet wird. Die Berechnung wurde mit dem Programm EMMA, das ein exaktes Generatormodell 7. Ordnung enthält, gestartet. Nach Abklingen des Gleichstromanteils innerhalb einer Sekunde wurde auf ein quasistationäres Modell (Programm EMIL) umgeschaltet. Da in diesem Fall nur die Hüllkurve berechnet wird, können größere Integrationsschrittweiten auch bei einfachen expliziten Integrationsverfahren ohne Schrittweitensteuerung verwendet werden. Eine Kopplung von Mittel- mit Langzeitmodellen ist ebenfalls möglich.

Ein anderer Weg ist die getrennte Berechnung von Teilsystemen und deren anschließende Überlagerung. Dieser Weg wurde bei der Berechnung von Kurzschlußstromverläufen gegangen. Mit der getrennten Lösung der Gleichungssysteme für die Gleich- und Wechselstromkomponente des Kurzschlußstromes entstand im Programmpaket KURT ein effektives Verfahren zur exakten Berechnung von Kurzschlußstromverläufen im Elektroenergiesystem. Bild 2 zeigt die berechneten Kurzschlußstromverläufe in einem 220-kV-Netz. Zu sehen sind jeweils die Gleichstromkomponenten, die Hüllkurven der Wechselstromkomponenten und deren Überlagerung zum Gesamtstromverlauf sowohl für den Summenkurzschlußstrom als auch für die Teilkurzschlußströme auf ausgewählten Leitungen.

Bild 1
Beispiel für die Kopplung von verschiedenen Modellen



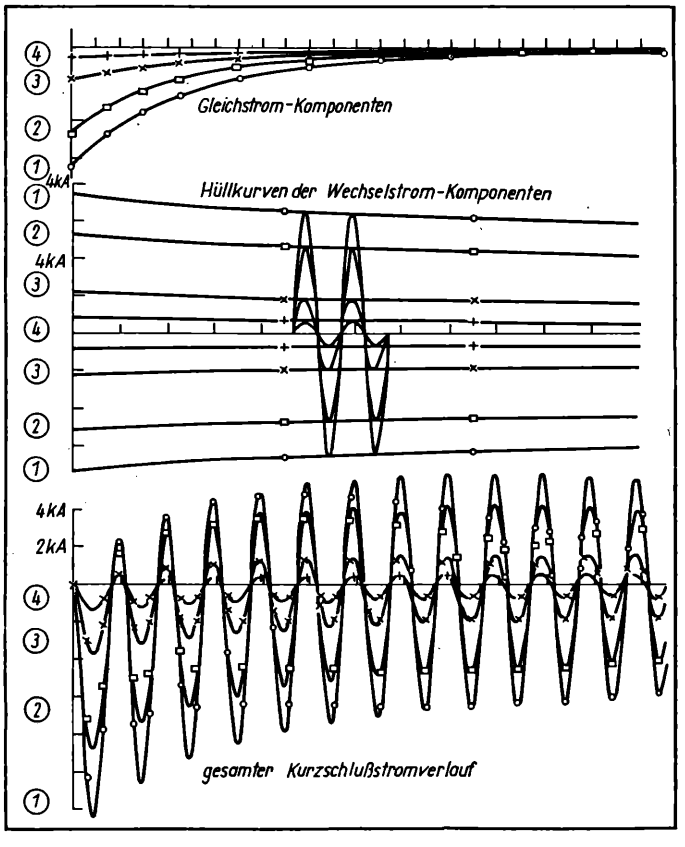


Bild 2
Beispiel für die getrennte Berechnung von Teilsystemen bei der Kurzschlußstromberechnung
1 Gesamtkurzschlußstrom
2 ··· 4 Teilkurzschlußströme

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß durch die Reihen- und/oder Parallelschaltung von Modellen für unterschiedliche Zeitbereiche die Lösung des gesamten nichtlinearen steifen Differentialgleichungssystems vermieden werden kann und ohne eine besondere Technik für die Schrittweitensteuerung ein weiter Zeitbereich des Ausgleichsvorganges berechnet werden kann. Die Vorteile der Anwendung dieser „timescale modelling" mit der getrennten Berechnung von Teilsystemen sind eine kürzere Rechenzeit und ein geringerer Bedarf an Speicherplätzen, weshalb dieses Verfahren besonders vorteilhaft für Personalcomputerprogramme ist.

Literatur

[1] *Pundt, H.:* Berechnung von Ausgleichsvorgängen in Elektroenergiesystemen. ELEKTRIE, Berlin 37 (1983) 9, 451–452

[2] *Oswald, B.:* Zeitskalierte Modelle des Elektroenergiesystems. Wiss. Z. der TUD 36 (1987) 4, 87 bis 95

[3] *Ambrosch, H.; Böhme, H.; Pundt, H.:* Zuverlässigkeitserhöhung von Elektroenergiesystemen durch optimale Gestaltung von Betriebsmitteln und Anlagen und Vorausberechnung von Betriebsvorgängen. ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 4, 149–154

EA 2917

Die Zukunft des elektrischen Antriebs

Fortsetzung von Seite 445

Entwicklungsrichtungen der elektrischen Antriebstechnik

Der VEB Kombinat Elektromaschinenbau betrachtet den Elektromotor als Kernstück der elektrischen Antriebstechnik, weil seine rationelle Anpassung an das zu lösende Antriebsproblem einen höheren Aufwand erfordert, als er bei der Modifikation der Antriebselektronik zu erwarten ist. Das bedeutet einerseits eine verantwortungsbewußte Steigerung der Sortiments- und Modifikationsvielfalt und andererseits die gewissenhafte Verfolgung und Gestaltung der Entwicklung der Antriebselektronik.

Auf den volkswirtschaftlich bedeutendsten Entwicklungskomplex der drehzahlvariablen Drehstromtriebstechnik, die frequenzgestellten Niederspannungs-Asynchronmotoren mit Leistungen bis etwa 100 kW, konzentriert sich der VEB Kombinat Elektromaschinenbau in Entwicklung, Produktion und Angebot. Dieses Antriebsangebot ist nicht nur das Angebot von Elektromotoren und Umrichtern. Es schließt die Sicherung der optimalen Anpassung beider Elemente ein. Das kommt durch die Nutzungsmöglichkeit spezieller Projektierungs-Software für drehzahlvariable Drehstromantriebe zum Ausdruck. Die mögliche Vielfalt der Lösungsvarianten für einen drehzahlvariablen Antrieb macht die Anwendung von Expertensystemen, zur Auswahl von Alternativen notwendig.

Grundsätzlich macht die Bereitschaft und die Bereitstellung der Mittel zur Antriebsprojektierung den bisherigen Antriebskomponentenhersteller zum Antriebsanbieter, zum Entwickler elektrischer Antriebe. Ziemlich unabhängig davon, ob er alle Komponenten selbst herstellt.

Zum Antriebsangebot wird auch die bereits erläuterte Zustandsüberwachung gehören, die im besten Fall die wesentlichen Elemente der Arbeitsmaschine mit erfaßt. Dabei kann sowohl eine spezielle Überwachungselektronik eingesetzt oder aber die im Stromrichter unverzichtbare vorhandene Rechentechnik genutzt werden. Die Grundlage dieser Art notwendiger Erhöhung der Zuverlässigkeit ist die Realisierung der intelligenten Sensoren der elektrischen Maschine (Bild 6).

Zusammenfassung

Die Zukunft des elektrischen Antriebs ist, das hat die internationale wissenschaftliche Tagung „Ein Jahrhundert industrieller Elektromaschinenbau — 40 Jahre volkseigener Elektromaschinenbau" gezeigt, mit der weiteren Entwicklung der rotierenden elektrischen Maschine als ein material-, arbeitszeit- und energieökonomisch bedeutendes Element fest verbunden. Die Entwicklungsfortschritte des Elektromotors werden durch die Möglichkeiten der Leistungs- und Informationselektronik potenziert. Der elektrische Antrieb verlangt eine zunehmend komplexere, alternativreiche Betrachtung. Dabei übernimmt der vom Antriebskomponentenhersteller sich entwickelnde Antriebsanbieter durch sein Expertenwissen die Führungsrolle.

Es gehört zu den Ergebnissen der Tagung, erkannt zu haben, daß gerade der inhaltlich komplexe und zugleich entwicklungshistorische Charakter der Veranstaltung zukunftsweisende Schlußfolgerungen ermöglicht.

Literatur

[1] *Reiche, H.:* Forschung für den Elektromaschinenbau. ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 5, S. 173–176

[2] *Zacher, W.:* Posterbeitrag aus der TH Ilmenau: Drehstrom-Asynchronmaschine mit verringertem Masse-Leistungs-Verhältnis

H. Reiche, Dresden EA 2920

Bild 5. Angebot von VEM-Frequenzumrichtern bis 90 kW auf der Hannovermesse 1988

Bild 6. VEM-Wälzlagerdiagnosegerät als intelligenter Sensor, der die Restverfügbarkeit der Wälzlager ausweist

Explosionsgeschützte elektrotechnische Betriebsmittel

Von einem Autorenkollektiv unter Leitung von *H.-J. Linström*

Berlin: VEB Verlag Technik 1988. 1. Auflage. 95 Seiten, 40 Bilder, 7 Tafeln. Broschur 10,— Mark. Bestell-Nr. 553891 2

In bestimmten Industriezweigen (z. B. chemische Industrie, Bergbau) existieren Bereiche, in denen Explosionsgefahr besteht. Die elektrotechnischen Betriebsmittel, die dort eingesetzt sind, unterliegen speziellen Anforderungen, um einen sicheren Betrieb zu gewährleisten. Ausgehend von den Bedingungen für das Entstehen von Explosionen und den dabei auftretenden Erscheinungen, werden in dieser Broschüre systematisch die möglichen Schutzarten erläutert und den in den verschiedenen Industriebereichen auftretenden Explosions-Gefährdungsgraden gegenübergestellt. Es werden konkrete, auf die einzelnen Schutzarten bezogene Hinweise zur Reparatur, Wartung und Prüfung der explosionsgeschützten elektrotechnischen Betriebsmittel gegeben.

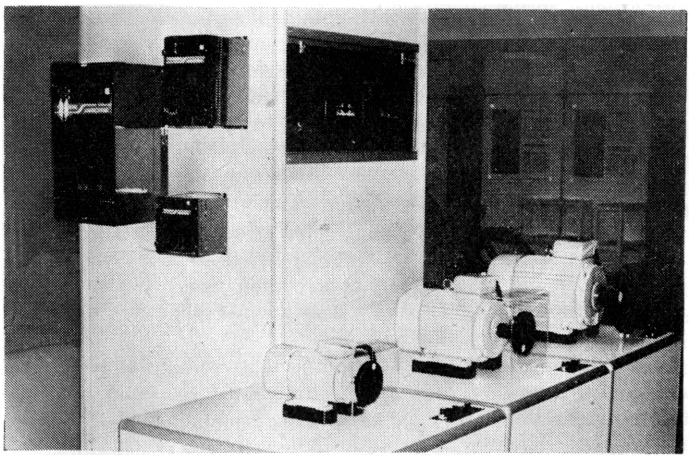
Die Broschüre ist so angelegt, daß Facharbeiter und Meister, die solche Betriebsmittel betreiben, warten und instandhalten, die gegebenen Hinweise ohne weiteres für ihre Arbeit verwenden können.

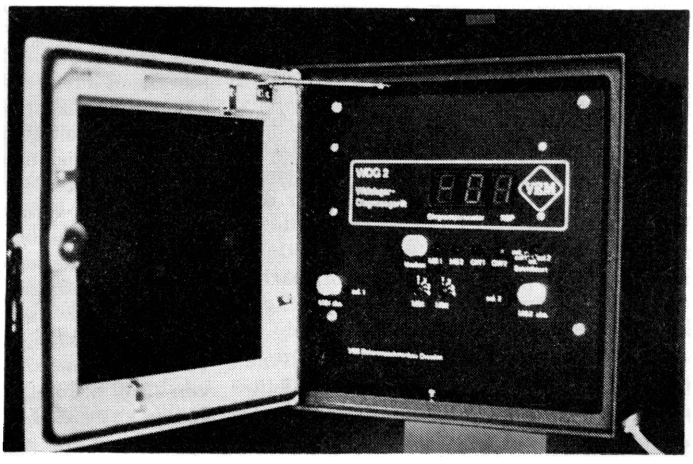
Bilder und Tafeln tragen zur Veranschaulichung des Stoffes bei.

Selbstverständlich sind sämtliche einschlägigen Vorschriften, zu deren Erläuterung die Broschüre ja dient, noch einmal zusammengestellt.

Das Buch ist in folgende Hauptkapitel eingeteilt:

1. Voraussetzungen für Explosionen und deren Erscheinungen
2. Schutzartkonzeptionen
3. Beurteilungsergebnis der Arbeitsstätte und Zuordnung der elektrotechnischen Betriebsmittel
4. Instandhaltung
5. Reparaturen und Änderungen an explosionsgeschützten elektrotechnischen Betriebsmitteln
6. Hinweise für die Arbeit mit den Standards auf dem Gebiet der explosionsgeschützten elektrotechnischen Betriebsmittel.





15 Jahre Interelektro

15 Jahre gemeinsame Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiet des Elektromaschinenbaus

Auf dem Gebiet der elektrischen Maschinen bis etwa 400 kW koordiniert die Arbeitsgruppe 3 der Vereinigung Interelektromultilateral die gesamte wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit und Probleme der Bedarfsdeckung der beteiligten RGW-Länder. In den folgenden Darlegungen werden nur die Fragen der wissenschaftlich-technischen Zusammenarbeit betrachtet. Die Arbeitsgruppe 3 konnte in ihrer Arbeit auf die guten Erfahrungen der Sektion 10 der Kommission Maschinenbau der RGW-Länder zurückgreifen, insbesondere auf die Arbeit der Spezialistengruppe Niederspannungs-Asynchronmaschinen (NSASM).

Die erste Beratung von Spezialisten zu Normierungs- und Entwicklungsfragen von NSASM fand bereits im Jahre 1956 statt. Die erste gemeinsam erarbeitete Empfehlung für die Zuordnung der Leistungsreihen zu den Anbaumaßen wurde 1960 verabschiedet. Diese RGW-Empfehlung war die Basis für die in der DDR realisierte Standardmotorenreihe KR, die ab 1963 produziert wurde. Sie basiert auf der IEC-Publikation 72. In dieser Publikation sind unabhängig voneinander Leistungsstufen und Anbaumessungen festgelegt, jedoch keine Zuordnung dieser wesentlichen Maschinenparameter zueinander. In den Folgejahren wurde gemeinsam von den RGW-Ländern an der Verbesserung dieses Basisdokuments gearbeitet, das 1968 als neue Empfehlung RS 3031-71 verabschiedet wurde. RS 3031-71 war die Grundlage für die Spezialistengruppe der Sektion 10 zur Erarbeitung und Abstimmung von Empfehlungen über Hauptparameter für die Entwicklung von NSASM in Grundausführung einschließlich Hauptmodifikationen. Die konkreten Entwicklungsarbeiten in den einzelnen Ländern des RGW führten zu Motorenreihen, die eine Austauschbarkeit innerhalb der einzelnen Länder gewährleisten, so z. B. in der DDR die Standardmotorenreihe KMR und in der UdSSR die Reihe A4. Parallel zur mehrseitigen Zusammenarbeit wurden zwischen der UdSSR und der DDR einzelne konstruktive Details für diese Motorenreihen abgestimmt, so daß für die Produktion in beiden Ländern gleiche technologische Ausrüstungen einsetzbar sind. Der wissenschaftlich-technische Fortschritt dieser Motorenreihe in der DDR war gekennzeichnet durch:

— Einsatz neuer Werkstoffe und moderne Optimierungsverfahren mit Materialeinsparungen an

- Elektroblech von 20 %
- Wickelkupfer von 13 %
- Stahl/Grauguß von 12 %

— Verringerung des Eigenschwungmomentes und damit wesentliche Verbesserung der dynamischen Eigenschaften der Motoren

— hohen Automatisierungs- und Mechanisierungsgrad unter Anwendung neuester fertigungstechnischer Erkenntnisse.

Mit der Bildung der internationalen Organisation Interelektro wurden diese ehemals im Rahmen einer Spezialistengruppe der Sektion 10 durchgeführten Arbeiten in der Arbeitsgruppe 3 Interelektro wesentlich konkreter fortgesetzt, was sich seitdem auch darin äußert, daß gemeinsam durchgeführte Arbeiten nicht nur mit Empfehlungen für die einzelnen Länder, sondern als RGW-Standard abgeschlossen werden.
Auf der 4. Tagung dieser Arbeitsgruppe im Jahre 1975 in Dresden vereinbarten alle RGW-Länder die wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Entwicklung und Einführung einer einheitlichen unifizierten Reihe NSASM. Die Entwicklungsarbeiten wurden einem „Vereinigten Wissenschaftlich-Technischen Rat für Asynchronmotoren" (ONTS) übertragen. In gemeinsamen Beratungen wurden in diesem Rat die technischen Aufgabenstellungen für die Konstruktion der Motoren, für die Hauptmaterialien und für die Fertigungstechnologie erarbeitet. Zur Untersetzung dieser Aufgabenstellungen wurde die Abarbeitung von Forschungsthemen vereinbart. Die Durchführung der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in den einzelnen Ländern wird in diesem Rat koordiniert.

Die Ergebnisse dieser gemeinsamen Arbeiten haben in den ständigen Verbesserungen des Erzeugnisses NSASM in der DDR ihren Niederschlag gefunden. Nicht zuletzt ist die hohe Marktstabilität dieses Erzeugnisses auf seine permanente Weiterentwicklung unter Nutzung der Erkenntnisse aus der internationalen Zusammenarbeit zurückzuführen.
Die im Laufe der Jahre gesammelten Erfahrungen auf dem Gebiet der Niederspannungs-Asynchronmotoren haben im Rahmen der Arbeitsgruppe 3 auch zu gemeinsamen Entwicklungsarbeiten an anderen Projekten der elektrischen Maschinen geführt, so z. B. an einer Reihe vollgeblechter Gleichstrommaschinen für hohe dynamische Anforderungen.
Ende der siebziger Jahre wurde in einer speziellen Arbeitsgruppe auch die gemeinsame Entwicklung einer Unifizierten Reihe von Spaltpolmotoren bis zu einer Leistung von 35 W begonnen und 1980 mit dem Ergebnis abgeschlossen, daß in ausgewählten RGW-Ländern, u. a. in der DDR, Kleinmotorenreihen mit gleichem Konstruktionsprinzip und grundsätzlich gleichen Verfahrensprinzipien gefertigt werden. Die volkswirtschaftliche Bedeutung der in internationalen Gemeinschaftsarbeit entstandenen Antriebsmotoren für Konsumgüter erhellt zum Beispiel die Tatsache, daß allein mit einem solchen Motortyp in der DDR bisher über 10 Millionen Laugenpumpen für Waschgeräte hergestellt wurden.

Die Arbeiten im Rahmen der Arbeitsgruppe 3 Interelektro werden ebenfalls in engem Kontakt mit der Arbeitsgruppe 9 „Elektrische Antriebe", der Arbeitsgruppe 7 „Technologische Hauptausrüstungen" sowie den Arbeitsgruppen 5 und 6 durchgeführt.

Derzeit wird gemeinsam im Rahmen von ONTS an der Konzeption einer perspektivischen Asynchronmotorenreihe gearbeitet. Schwerpunkt der Arbeit der Arbeitsgruppe 3 ist, die aus dem Komplexprogramm des RGW abgeleiteten Zielstellungen für den Zeitraum bis zum Jahr 2000 umzusetzen. Im wesentlichen betrifft das elektromotorische Komponenten für die moderne Antriebstechnik von flexiblen Fertigungssystemen.

R. Möckel
Abteilungsleiter im Direktionsbereich Forschung und Entwicklung des VEB Kombinat Elektromaschinenbau

EA 2936

Mitarbeit des VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau (KAAB) in der zwischenstaatlichen ökonomischen Organisation Interelektro

Seit Gründung der Organisation Interelektro im Jahr 1973 nahmen Betriebe des VEB KAAB in der Arbeitsgruppe 2 „Transformatoren und Hochspannungsgeräte" und ab 1975 in der Arbeitsgruppe 9 „Stromrichtertechnik" an der wirtschaftlichen und wissenschaftlich-technischen Zusammenarbeit (WTZ) mit den Teilnehmerländern der Organisation teil.

In den ersten Jahren des Bestehens von „Interelektro" gab es beachtliche Unterschiede im wissenschaftlich-technischen und Produktionsniveau einzelner Teilnehmerländer im Rahmen der Nomenklatur beider Arbeitsgruppen.

Aus dieser Situation heraus ergaben sich die ersten Hauptaufgaben für die Tätigkeit der Länderdelegationen, die zur vollen Bedarfsdeckung der Länder in den Nomenklaturpositionen und zum Angleichen des technologischen Niveaus in der Produktion dieser elektrotechnischen Investitionsgüter beitragen sollten.

Diese Aufgaben sind realisiert.

Im Rahmen der Arbeitsgruppe 2 beteiligten sich Kombinatsbetriebe des VEB KAAB an der mehrseitigen wissenschaftlich-technischen Zusammenarbeit zu wichtigen Themen, wie

— Entwicklung und Produktion einer Serie von Leistungstransformatoren bis 1600 kVA, einer Nennspannung von 20 (22) kV mit Alu-Bandwicklung

— Entwicklung und Produktion von kompletten Kondensatorenanlagen mit Folienkondensatoren
— Komplette Schaltzellen mit Vakuum- und ölarmen Leistungsschaltern für Nennspannungen von 6 bis 35 kV, Nennströme 630 bis 3200 A und
— Gasisolierte komplette Schaltanlagen für 110 bis 220 kV.

Diese in den Perspektivarbeitsplänen der Organisation Interelektro als Komplexthemen geführte Aufgaben wurden durch abgeschlossene WTZ-Vereinbarungen zwischen den beteiligten Kombinaten bzw. Produktionsvereinigungen realisiert.
Die erreichten wissenschaftlich-technischen Ergebnisse fanden ihren Niederschlag bei der Überleitung von Neuentwicklungen in die Serienproduktion.
Eine ebenso wichtige Aufgabe wie die Sicherung eines hohen technischen Niveaus der Finalerzeugnisse und einer entsprechenden Produktionstechnologie war für die Teilnehmerländer die Lösung von Fragen der Spezialisierung und Kooperation der Produktion.
Für den VEB KAAB war und ist die Sicherung stabiler Export- und Importlinien von großer Bedeutung. Im Vertrag über die mehrseitige internationale Spezialisierung und Kooperation der Produktion (MISKP) von Transformatoren und Hochspannungsgeräten für den Zeitraum 1986 bis 1990 ist das Kombinat in 19 Nomenklaturpositionen am Warenaustausch beteiligt. Zu den Exportpositionen zählen vor allem Erzeugnisse, wie

— komplette Transformatorenstationen
— ölarme Leistungsschalter
— Stufenschalter für Großtransformatoren
— Strom- und Spannungswandler u. a.

Importpositionen sind beispielsweise

— fahrbare und explosionsgeschützte Transformatorenstationen
— Trennschalter
— Transformatoren und
— Kondensatorendurchführungen.

Die wachsende Bedeutung der Halbleiterleistungstechnik führte im Rahmen von Interelektro 1975 zur Bildung der Arbeitsgruppe 9 — Stromrichtertechnik —.
Standen in den Anfangsjahren die Steigerung der Produktion von Halbleiter-Leistungsbauelementen und die Schaffung leistungsstarker Umrichter zur Stromversorgung und für Antriebe im Vordergrund, so erfolgte Anfang der 80er Jahre die verstärkte Einbeziehung der Mikroelektronik in die Stromrichtertechnik.
Im Ergebnis der Anwenderforderungen, u.a. fixiert in den Generalabkommen Industrieroboter und flexible Fertigungssysteme sowie im Thema 2.3.6. des Komplexprogramms des wissenschaftlich-technischen Fortschritts der Mitgliedsländer des RGW bis zum Jahre 2000, erfolgte der Abschluß bzw. die Fortschreibung von Vereinbarungen über die Entwicklung von Vorschub- und Hauptantrieben für NC-Werkzeugmaschinen und Antrieben für Industrieroboter und flexible Fertigungssysteme sowie von Halbleiter-Leistungsbauelementen. Mit der Erweiterung der Aufgaben erfolgte eine Dreiteilung des Arbeitsgebietes der AG 9 in die Richtungen

— Stromrichter (einschl. Antriebe)
— Halbleiter-Leistungsbauelemente und
— Antriebe für NC-Werkzeugmaschinen und Industrieroboter.

Die gegenseitig spezialisierten Lieferungen erfolgen im Rahmen der Verträge über die mehrseitige internationale Spezialisierung und Kooperation der Produktion von

— Erzeugnissen der Stromrichtertechnik und
— Vorschub- und Hauptantriebe für NC-Werkzeugmaschinen.

Gegenwärtig ist das Kombinat Automatisierungsanlagenbau mit dem Export von Unterwerken und dem Import von Frequenzumrichtern für spezielle Antriebe an der Spezialisierung beteiligt.
Die wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit konzentriert sich auf die Entwicklung moderner Drehstromantriebe, nachdem die Mitarbeit auf dem Gebiet der Vorschub- und Hauptantriebe für NC-Maschinen mit der Produktionseinführung des Gleichstrom-Hauptantriebes DT 0-digital mit 16-bit-Mikroprozessor durch den VEB KAAB einen vorläufigen Abschluß fand.
Auch die Zusammenarbeit zur Entwicklung und Produktionseinführung von Frequenzumformern mit vollsteuerbaren Bauelementen und Mikroprozessorsteuerung erfolgt auf der Grundlage einer Vereinbarung.
Die mit den Teilnehmerländern im Rahmen der Vereinbarungen und Verträge langfristig abgestimmte Erzeugnisentwicklung und der Warenaustausch sind ein bedeutender Faktor bei der Sicherung der Reproduktionsprozesses in den Betrieben des KAAB.

Einen großen Beitrag zur Unifizierung von Erzeugnissen und zur Sicherung ihrer technischen Parameter leisteten die Betriebe des Kombinats auf dem Gebiet der Standardisierung. Die Nomenklaturpositionen des Vertrages über die mehrseitige internationale Spezialisierung und Kooperation der Produktionen entsprechen den RGW-Standards. Die weitere Qualifizierung der Standardisierungsarbeiten zwischen den Teilnehmerländern der Interelektro wird auf der Grundlage der Materialien der Ständigen Kommission für Standardisierung des RGW aktiv unterstützt.
Untrennbar von der Mitarbeit des VEB KAAB in der Interelektro sind Leistungen, die in der internationalen Wirtschaftsorganisation Interelektrotest erbracht werden. Das Prüffeld für elektrische Hochleistungstechnik hat eine international anerkannte Stellung und leistet einen bedeutenden Beitrag auch für den Export von elektrotechnischen Erzeugnissen der Teilnehmerländer in Drittländer.
Ein weiterer Nutzen der mehrseitigen Zusammenarbeit ergibt sich aus der Vielzahl der zweiseitigen Gespräche und Abstimmungen mit den Vertretern der anderen 6 Länder bis zum Abschluß von bilateralen Verträgen auf kommerzieller Grundlage.
Dem praktischen Erfahrungsaustausch dienen Betriebsbesuche und die Approbation von Erzeugnissen. Damit im Zusammenhang stehen Gespräche über Fertigungs- und Prüftechnologien bis zur Organisation des Kundendienstes. Eine umfassende Information über das wissenschaftlich-technische Niveau von Erzeugnissen und Technologien erfolgt auf betriebs- und erzeugnisorientierten Symposien.

Aus dieser Tätigkeit entstehen neue Impulse für die wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit und für den spezialisierten Warenaustausch.
Die 15jährigen Erfahrungen aus der Mitarbeit in der zwischenstaatlichen ökonomischen Organisation „Interelektro" bestätigen, daß die ökonomische Effektivität Priorität auch in der mehrseitigen internationalen Zusammenarbeit haben muß und das natürlich unter Berücksichtigung der Interessen der an einer konkreten Aufgabe beteiligten Partner.

K.-H. Stobbe
Stellvertretender Leiter der Abteilung Internationale Zusammenarbeit im VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau (KAAB)

EA 2933

Ergebnisse der Zusammenarbeit zwischen Interelektro und dem Kombinat VEB NARVA „Rosa Luxemburg"

Der 15. Jahrestag der Gründung der internationalen Organisation für wirtschaftliche und wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit auf dem Gebiet der elektrotechnischen Industrie Interelektro ist Anlaß für das Kombinat NARVA, Bilanz über erreichte Ergebnisse in bezug auf die sozialistische ökonomische Integration zu ziehen.
Das Kombinat NARVA ist seit Anbeginn an Interelektro-Mitglied, und zwar der Arbeitsgruppe 8 „Lichttechnik". Einen Höhepunkt bildete die in der DDR durchgeführte 25. Tagung der Arbeitsgruppe, die durch den Generaldirektor des Kombinates, Dr. *Wulf*, eröffnet wurde (Bild 1).
Auf dieser Tagung wurden die Hauptrichtungen der Entwicklung auf dem Gebiet der sozialistischen ökonomischen Integration bereits für den Zeitraum 1991 bis 1995 festgelegt. Es wurden 9 Hauptkomplexe der wissenschaftlich-technischen Zusammenarbeit formuliert. Dabei ist die DDR Koordinator für das Teilthema „Rückgewinnung der Hauptkomponenten aus Hochdruck-Lampenbrennern", 1988 bis 1991, und Koordinator zum Thema „Entwicklung, Konstruktion, Technologie und Ausrüstung für die Produktion von Leuchten mit Leuchtstofflampen und eVG der Leistung 18, 24 und 36 W", 1991 bis 1995.
Es kann eingeschätzt werden, daß im Kombinat NARVA die sozialistische ökonomische Integration — von der analytisch-prognostischen Arbeit bis zur Realisierung vertraglich vereinbarter Integrationsmaßnahmen — zunehmend konkrete Formen annimmt. So wurden entsprechend einem Vorschlag der DDR folgende Teilprognosen erarbeitet:

1. Entwicklungstendenzen in der Anwendung der Niederdruck-Entladungslampen im Wohnbereich (Autor: DDR)
2. Entwicklungstendenzen in der Anwendung der Hochdruck-Entladungslampen in der Außenbeleuchtung (Autor: ČSSR)
3. Entwicklungstendenzen bei alternativen Lösungen für Allgebrauchsglühlampen (Autor: DDR)

Bild 1. 25. Sitzung der Arbeitsgruppe 8 „Lichttechnik" der „Interelektro" im April 1988 in Berlin

4. Entwicklungstendenzen der Innenraumbeleuchtung in Gesellschaftsbauten (Autor: VRB)
5. Entwicklungstendenzen der industriellen Innenraumbeleuchtung einschl. Arbeitsplatzbeleuchtung (Autor: UdSSR)
6. Stand und Tendenzen in der Anwendung der Elektronik in der Lichttechnik (Autoren: ČSSR/VRP)
7. Entwicklungstendenzen bei Materialien für lichttechnische Erzeugnisse und ihre Rückgewinnung (Autor: SRR)
8. Perspektiven der Entwicklung quantitativer und qualitativer Kennziffern des Systems der künstlichen Beleuchtung auf Hauptanwendungsgebieten (Autor: UdSSR).

In der jetzt fertiggestellten Prognose der wissenschaftlich-technischen Entwicklung der Lichttechnik in den Mitgliedsländern der Interelektro-Arbeitsgruppe 8 wurde für den Zeitraum bis zum Jahre 2000 klar herausgearbeitet, daß

— die mittlere Lichtausbeute für Allgemeinbeleuchtung spürbar steigt
— der Lichtbedarf in den meisten Ländern weiter steigt und
— die Energieökonomie vor allem durch steigenden Einsatz und wachsende Qualität von Leuchtstofflampen und Hochdrucklampen getragen wird.

Auf diese Entwicklungstendenzen hat sich das Kombinat NARVA in seiner ökonomischen Strategie mit dem Blick auf das Jahr 2000 einzustellen.
Sie setzen neue Maßstäbe im Kampf um wissenschaftlich-technische Spitzenleistungen in immer größerer Breite, wobei diese Spitzenleistungen nur durch eine weitere Vertiefung der sozialistischen ökonomischen Integration erreicht werden können.

H. Köchert
Leiter der Internationalen
Zusammenarbeit im Kombinat
VEB NARVA „Rosa Luxemburg"

H. Liewald
Mitarbeiter für nationale
Wissenschaftskooperation
im Kombinat VEB NARVA
„Rosa Luxemburg"

EA 2934

Entwicklung der Leistungskraft und der Effektivität des Kombinates VEB Kabelwerk Oberspree „Wilhelm Pieck" durch „Interelektro"

Bis 1973 wurde die Zusammenarbeit der RGW-Mitgliedsländer auf elektrotechnischem Gebiet in der Sektion 10 der Ständigen Kommission Maschinenbau des RGW (SKM) koordiniert. Die immer größer werdende Kompliziertheit der Aufgaben der internationalen Zusammenarbeit und die Beschleunigung des Entwicklungstempos in der Elektrotechnik forderten neue Formen und Inhalte der Zusammenarbeit. Deshalb wurde 1973 die Internationale ökonomische Organisation „Interelektro" gegründet. Mitglieder sind die VR Bulgarien, die UVR, die DDR, die VRP, die Republik Kuba, die SRR, die UdSSR, die ČSSR und die SFRJ.
Im Mai 1974 wurde als ein Arbeitsorgan der Interelektro, die Arbeitsgruppe „Kabelerzeugnisse" gebildet. Sie vereinigt die Kabelindustrien der Teilnehmerländer der Interelektro.
Zielstellungen der Zusammenarbeit mit den Teilnehmerländern „Interelektro" sind u.a.:

— eine höhere ökonomische Wirkung in Wissenschaft und Technik
— stabile Wachstumsraten der Produktion und der Arbeitsproduktivität
— das Verhältnis von Aufwand und Ergebnis bei den Erzeugnissen zu verbessern.

Diese Zielstellungen werden durch folgende Schwerpunkte untersetzt:

— Koordinierung der Produktionskapazitäten und Mitwirkung bei der Perspektivplankoordinierung
— die mehrseitige internationale Spezialisierung und Kooperation der Produktion
— die wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit auf vertraglicher Grundlage
— die Standardisierung in Abstimmung mit der Ständigen Kommission Standardisierung des RGW.

Die rasche und effektive Realisierung der Aufgaben und die Erreichung der gestellten Ziele der internationalen mehrseitigen Zusammenarbeit ist auch für unser Kombinat eine wichtige Arbeitsaufgabe.

Zur Lösung der Aufgaben aus dem „Komplexprogramm des wissenschaftlich-technischen Fortschritts der RGW-Länder bis zum Jahre 2000" übernahm die AG „Kabelerzeugnisse" der Interelektro auf vertraglicher Grundlage Teilaufgaben aus folgenden Generalabkommen, die zwischen den Regierungen der Mitgliedsländer des RGW abgeschlossen wurden:

— Generalabkommen „Einheitliches System der Lichtwellenleiter-Übertragungstechnik (Lichtwellenleiterkabel und Technologische Spezialausrüstungen)"
— Generalabkommen „Flexible Fertigungssysteme" (hochflexible Spezialleitungen)
— Generalabkommen „Elektrokomponenten für Automatisierungsmittel" (Kabel und Leitungen für spezielle Anwendungsfälle).

Zusätzliche Aufgabe ist das Thema „Optimierter Aufbau von VPE-Starkstromkabel 10 bis 35 kV".
Die abgestimmte internationale Bearbeitung von Standardisierungsaufgaben im Zusammenhang mit WTZ-Themen dient der Erleichterung des Warenaustausches und des effektiven Materialeinsatzes. Der Austauschbarkeitsgrad der Erzeugnisse wird verbessert.
Das erste mehrseitige Spezialisierungsabkommen in der AG „Kabelerzeugnisse" der Interelektro wurde bereits 1975 für den Zeitraum 1976 bis 1980 geschlossen. Gegenwärtig wird der Spezialisierungsvertrag für die 5-Jahrplanperiode 1991 bis 1995 vorbereitet.
Die erreichten Ergebnisse in der zwei- und mehrseitigen internationalen Spezialisierung und Kooperation der Produktion tragen zur Stabilität des Exports in die UdSSR und die anderen sozialistischen Länder bei.
Im Verlaufe der bisherigen Tätigkeit der AG 5 „Kabelerzeugnisse" der Interelektro ist eine Reihe von wissenschaftlich-technischen Aufgaben gelöst worden. Genannt seien hier die zuletzt abgeschlossenen Themen

— Optimierung von 1 bis 35 kV Starkstromkabeln.

Der errechnete Nutzen für die Volkswirtschaft der UdSSR betrug durch eine Erhöhung der Strombelastbarkeit von Starkstromkabeln 1 bis 35 kV 15 Millionen Rubel. Die zu erwartende Materialökonomie in den einzelnen Teilnehmerländern beträgt bei

— Aluminium	0	bis 3	%
— PVC für die Aderisolierung	0,7	bis 7,8	%
— PVC für die Mäntel	2,0	bis 11	%.

Diesen Berechnungen liegt ein abgestimmtes Kabelsortiment in den Querschnitten 2,5 bis 10 mm² und 16 bis 240 mm² bei einer Nennspannung 1 kV zu Grunde.

— Fernmeldeendverschlüsse in Schlitzklemmentechnik für plastisolierte Fernmeldeortskabel

Bei der Montage von Fernmeldekabeln steigt die Arbeitsproduktivität 2,5fach im Vergleich zur Montage von konventionellen Kabelendverschlüssen, die Betriebszuverlässigkeit erhöht sich.

— Gemeinsame abgestimmte Entwicklung von Al/Cu-Verbunddrähten

Generaldirektor *Adolph* (2. v. r.) während einer Arbeitsgruppentagung beim Erfahrungsaustausch mit sowjetischen Fachkollegen in einer Produktionshalle des VEB Kabelwerk Oberspree „Wilhelm Pieck"

Der Austausch von Spezialisten, die Einsparung von Entwicklungszeiten und die Verbesserung der Materialökonomie waren das Ergebnis.

Von den gegenwärtig in Bearbeitung befindlichen Themen aus Wissenschaft und Technik läßt die gemeinsame Entwicklung von Kabel-Generationen für die Lichtwellenleiter-Nachrichtenübertragungstechnik folgende Effekte erwarten:

— 30 g Glasfaser übertragen mit wesentlich höherer Qualität die gleiche Informationsmenge wie über 340 kg Kupfer in einem konventionellen Fernmeldekabel

— bei den konventionellen 4-Tuben-Kabeln, wie sie beispielsweise für die UdSSR produziert werden, können durch Substitution mit äquivalenten Lichtwellenleiterkabeln 4,25 t Kupfer je Kabelkilometer freigesetzt werden.

Das sind große materialökonomische Effekte. Hinzu kommen sehr große Effekte durch die Einsparung von Tiefbaukapazität bei einer Verlegung in bereits vorhandene und belegte Kabelkanäle.

Die Erarbeitung einheitlicher Kabelkonstruktionen und die Vereinheitlichung der Prüfmethoden der Lichtwellenleiterkabel unterstützen den Warenaustausch. Vom gegenwärtigen WTZ-Thema „Optimierung von vernetzten PE-Kabeln in der Mittelspannungsebene" werden gleichfalls materialökonomische Effekte erwartet. Entsprechend den wissenschaftlich-technischen Erkenntnissen werden von der Kabelindustrie ständig neue Kabelerzeugnisse, die nach rationellen Herstellungsverfahren produziert werden, gefordert. Diese Aufgabe ist unter heutigen Bedingungen nur in enger Gemeinschaftsarbeit mit dem Maschinenbau bei technologischen Spezialausrüstungen, mit der chemischen Industrie und Metallurgie in der DDR und im RGW bei der Bereitstellung von Grundmaterialien für die Herstellung von Kabel und Leitungen zu lösen. Neue technische Lösungen sind unter Einbeziehung und Koordinierung der vorhandenen Forschungspotentiale, unter Beachtung der gemeinsamen Interessen und bei Konzentration auf Schwerpunktaufgaben, schnell und ökonomisch zu entwickeln und produktionswirksam zu realisieren.

Die weitere Verbesserung der objektiv wirkenden Mechanismen der sozialistischen ökonomischen Integration ist dabei ein ständiger Prozeß. Es zeichnet sich beispielsweise heute bereits ab, daß die Aufgaben der mehrseitigen ökonomischen Zusammenarbeit von der Form und dem Inhalt her neu durchdacht und geordnet werden müssen. Dabei ist die ökonomische Strategie der 80er Jahre, wie sie der Generalsekretär der SED, Erich Honecker, auf dem XI. Parteitag der SED darlegte, für uns die Richtschnur unseres Handelns.

Die qualitäts- und termingerechte Lieferung unserer Erzeugnisse in die UdSSR und die anderen sozialistischen Länder ist nicht nur eine ökonomische Frage sondern es ist eine Frage des eigenen politischen Standpunktes und des Willens zur Leistung eines eigenen Anteils zur Stärkung der sozialistischen Gemeinschaft.

Dabei hat die direkte Zusammenarbeit unseres Kombinates und seiner Werke mit den Partnern in der UdSSR und den anderen sozialistischen Ländern eine lange, gute, aber auch verpflichtende Tradition.

F.-P. Bretschneider

Sekretär „Interelektro" im Kombinat
VEB Kabelwerk Oberspree (KWO)
„Wilhelm Pieck"

EA 2938

BUCHER

Drehzahlvariable Drehstromantriebe mit Asynchronmotoren

Von *P.-K. Budig*
1. Auflage. Berlin: VEB Verlag Technik 1988.
296 Seiten, 197 Bilder, 38 Tafeln. Ganzleinen 40,— Mark. Bestell-Nr.: 553 888 3

Mit dem vorliegenden Titel gibt der Verlag Technik innerhalb kurzer Zeit eine zweite Abhandlung zu drehzahlvariablen Antrieben heraus und wird damit der wachsenden Bedeutung dieser Technik gerecht. Dabei kann man vorab konstatieren, daß es gelungen ist, beiden Darstellungen unterschiedliche Schwerpunkte zu geben. Während in die Monografie *Seefried/Müller* „Frequenzgesteuerte Drehstrom-Asynchronantriebe" neben einer den Erfordernissen der weiteren Behandlung angepaßten Beschreibung des Betriebsverhaltens der Asynchronmaschine in beliebigen Betriebszuständen schwerpunktmäßig die Fragen der Steuerung und Regelung derartiger Antriebe aufgenommen wurden, enthält der vorliegende Titel vor allem Aussagen über ihre Auslegung und die Spezifik ihres Betriebsverhaltens.

Dabei finden sich ausführliche Angaben zu folgenden Komplexen:

— verschiedene Umrichterarten in ihren Eigenschaften und Aufwendungen im gegenseitigen Vergleich
— Einsatzbereiche der verschiedenen leistungselektronischen Bauelemente
— verschiedene Verfahren zur Erzeugung der Pulsmuster
— Anforderungen an das Frequenz-Spannungs-Regime
— Verluste im Motor bei Betrieb am Umrichter und die daraus folgende Einflußnahme auf das aus thermischen Gründen zulässige Drehmoment
— Dimensionierung der Stromrichter
— Einfluß der Stromverdrängung auf die Verluste in Läuferkäfigen
— pulsierende Drehmomente und Wege zu ihrer Reduzierung
— bei Umrichterbetrieb auftretende spezifische Motorgeräusche.

Die Ausführungen enthalten im Detail neben analytischen Untersuchungen tabellarische Zusammenfassungen und grafische Darstellungen vorliegender Ergebnisse. Zu manchen Fragen wird dabei bis zu Aussagen über konstruktive Details der elektrischen Maschine in ihrer Auswirkung auf das Verhalten im Umrichterbetrieb gegangen. Diese Ausführungen spiegeln die langjährige eigene Forschungstätigkeit auf dem Gebiet der drehzahlvariablen Drehstromantriebe wider.

Vom Titel ausgehend ist man überrascht, einen der 10 Abschnitte des Buches dem Synchronmotor in seiner Anwendung als Elektronikmotor bzw. als Stromrichtermotor gewidmet zu finden. Andererseits erhält der Verfasser dadurch die Möglichkeit, einen Vergleich zwischen beiden Motorprinzipien im drehzahlvariablen Drehstromantrieb anzustellen. Das geschieht natürlich ganz am Anfang des Werkes auch

bezüglich der beiden prinzipiell existierenden Arbeitsprinzipien für drehzahlvariable Antriebe, den Gleichstrom- und den Drehstromantrieb.
Der große Wert des vorliegenden Buches liegt in der Diktion einer ingenieurmäßigen Auseinandersetzung mit den Problemen, die bei der Realisierung drehzahlvariabler Antriebe auftreten, auch solchen ökonomischer Natur. Der Leser findet auf eine Vielzahl denkbarer Fragen, die mit der Anwendung der neuen Technik verbunden sind, Antworten mit quantifizierten Angaben. Aus dieser Sicht wird das Werk vielen Ingenieuren und Studenten, die mit derartigen Fragen konfrontiert werden, eine wertvolle Hilfe sein und gute Dienste leisten.
Die Ausführungen mit analytischem Charakter werden manchem Leser Schwierigkeiten bereiten, da sie — sicher mit Rücksicht auf das Gesamtvolumen — oft in großen Schritten entwickelt werden, so daß die Nachvollziehbarkeit schwierig ist. Bei zukünftigen Auflagen, die sicher ins Haus stehen werden, sollte überlegt werden, ob nicht generell auf manche Ableitung und manche theoretische Betrachtung von vornherein zugunsten der allgemein Diktion des Werkes verzichtet werden kann.

G. Müller, Dresden EA 2935

Leistungselektronik

Von *R. Lappe* (Herausgeber); *H. Conrad*; *M. Kronberg*. Berlin: VEB Verlag Technik 1987. 1. Auflage. 424 S., 301 Bilder, 21 Tafeln. Kunstleder 32,00 Mark. Bestell-Nr. 5537231

Unter der redaktionellen Leitung von Prof. (em.) Dr.-Ing. habil. *Rudolf Lappe* entstand dieses Lehrbuch, das sich sowohl an Studierende der Fachrichtungen Automatisierungstechnik und Elektrotechnik als auch an Ingenieure in der Praxis, die Stromrichter zu entwickeln bzw. einzusetzen haben, wendet. Sein Erscheinen ist um so mehr zu begrüßen, als das letzte im selben Verlag zu dieser Thematik erschienene Lehrbuch vom Herausgeber bereits vor mehr als 20 Jahren veröffentlicht wurde.
Das Buch schließt eine im Fachliteraturangebot der DDR auf dem Gebiet der Leistungselektronik seit Jahrzehnten bestehende Lücke.
Es gliedert sich in sieben Abschnitte, und wird vervollständigt durch ein umfangreiches Literaturverzeichnis, das relevante Veröffentlichungen des In- und Auslandes enthält, sowie ein Verzeichnis der verwendeten Formel- und Schaltzeichen.
In der Einführung wird ein Überblick über Einsatzgebiete der Leistungselektronik, ihre Grundprinzipien, den prinzipiellen Aufbau von Stromrichteranlagen und die historische Entwicklung der Leistungselektronik geboten.

Die weiteren Hauptabschnitte:

2. Halbleiterventile

Der Leser wird mit dem Aufbau, der physikalischen Wirkungsweise und dem Temperaturverhalten der heute für die Leistungselektronik wichtigen Halbleiterventile vertraut gemacht. Auch Daten ausgeführter Bauelemente, ein Überblick über deren Herstellungstechnologie und Erläuterungen zu den für die Ventile wichtigen Meßverfahren sind angegeben.

3. Netzgelöschte Stromrichter und Wechselstromsteller

4. Selbst- und lastgelöschte Stromrichter

In diesen beiden Abschnitten werden Wirkungsweise und Betriebsverhalten wichtiger Stromrichterschaltungen sowohl im netzgelöschten als auch im selbst- bzw. lastgelöschten Betrieb dargelegt. Gegenstand sind Gleichrichter, Wechselrichter, Gleich- und Wechselstromsteller und Direktumrichter. Dabei sind besonders die mathematisch-physikalischen Zusammenhänge zwischen Strömen und Spannungen bei unterschiedlichen Belastungen herausgestellt.

5. Steuerung der Stromrichter

Unter Verwendung von Zustandsgraphen werden die Herleitung von Steueralgorithmen für netz- und selbstgelöschte Stromrichter gezeigt sowie Aspekte der schaltungstechnischen Gestaltung der Steuergeräte genannt.

6. Stromrichtergeräte und Anlagen

Vor allem die Netzrückwirkungen sowie Methoden zu deren Reduzierung sind Gegenstand dieses Abschnittes.
Eine ausführliche Darstellung der Kurzschlußvorgänge in künftigen Neuauflagen wäre zu begrüßen.
Etwa 30 in den Text einbezogene und durchgerechnete Beispiele sowie 51 Übungsaufgaben, deren Lösungen sich im Abschnitt 7 befinden, runden die Darstellungen ab.
Mathematische Kenntnisse in dem an Hoch- und Ingenieurschulen gelehrten Umfange werden vorausgesetzt. Hilfreich sind die Hinweise zur Rechentechnik.

J. Schöner, Wismar EA 2896

Grundlagen der elektrischen Energietechnik

Von *G. Hosemann* und *W. Boeck*
Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag 1987
3. Auflage. 262 Seiten, 151 Bilder, 2 Beilagen

Daß der 1. Auflage von 1979 und der 2. von 1983 bereits 1987 eine völlig neubearbeitete und erweiterte 3. Auflage folgte, zeugt für die breite Anwendung dieses grundlegenden Hochschullehrbuches auch bei den in der Praxis tätigen Ingenieuren. Sicherlich trägt dazu auch die klare systematische Behandlung des Stoffes und der bewußt gering gehaltene Aufwand an Mathematik, bei, nach dem Motto der Verfasser: „Komplizieren ist immer einfach". So sind auch einige Abschnitte des Buches, die zur Ergänzung des Stoffes und zur Vertiefung dienen, ohne daß der Inhalt zum Verständnis anderer Kapitel benötigt wird, besonders ausgewiesen.
Im 1. Kapitel werden zunächst Aufgaben und Aufbau der Energieversorgung einschließlich der Probleme der Wirtschaftlichkeit geklärt. Es folgt die ausführliche Behandlung des Drehstromsystems und seine Beschreibung mittels symmetrischer Komponenten bei symmetrischen und unsymmetrischen Belastungen einschließlich der Oberschwingungen und bei Netzfehlern. Die Verfasser haben dabei in der 3. Auflage leider auch die Bezeichnungen *L1*, *L2* und *L3* für die 3 Leiter des Drehstromsystems übernehmen müssen, wie sie selbst betonen, was bei der Komponententransformation logischerweise Probleme bringt. So werden Ströme und Spannungen in Leitergrößen mit Index 1, 2 und 3 und die symmetrischen Komponenten mit (1), (2) und (0) versehen. Der Rezensent ist dagegen der Meinung, daß für die mathematische Beschreibung der Leitergrößen in der Netzberechnung durchaus nach wie vor die Indizes a, b und c die sinnvollste Lösung und auch zulässig sind; denn bei der Bezeichnung der Anzahl der beteiligten Leiter bei Fehlerberechnung wird abermals der Index, 1, 2 und 3 benötigt.
Im 2. Kapitel werden die Modelle und Ersatzschaltbilder für Transformatoren, Asynchronmotoren, Synchrongeneratoren, Freileitungen und Kabeln abgeleitet und erläutert. Dem Betrieb elektrischer Versorgungsnetze widmet sich das 3. Kapitel. Hier werden das Betriebsverhalten von Turbogeneratoren, Asynchronmotoren, Transformatoren sowie langer und kurzer Leitungen behandelt und abschließend auf die besonders aktuellen Probleme der Spannungshaltung, statische Stabilität, Frequenzhaltung und -regelung im Verbundbetrieb eingegangen.
Im 4. Kapitel folgt die Behandlung aller in Energieversorgungsnetzen auftretenden Überspannungen, wie zeitweilige Spannungserhöhung mit Netzfrequenz, Schaltüberspannungen und Blitzüberspannungen einschließlich kurz der Isolationsfragen wie Stoßspannungskennlinie, Isolationsbemessung in Luft und Isoliergas, Fremdschicht- und Gleitüberschläge und der Durchschlagmechanismen in festen und flüssigen Isolierstoffen. Zur Vertiefung wird in diesem Kapitel auf die Überspannungsbegrenzung durch Ventilableiter abschließend eingegangen.
Im letzten, dem 5. Kapitel, werden unter der Überschrift „Sicherheitstechnik in Drehstromnetzen" ein Überblick über Fehler, Störungen und Schäden in Drehstromnetzen, die Grundzüge des Netzschutzes und der Kurzschlußstromberechnung, die auftretenden Körperströme nebst Auswirkungen sowie die Schutzmaßnahmen dagegen in Niederspannungsnetzen gegeben. Als Beilagen sind Auszüge aus der Normenreihe DIN VDE 100 „Errichten von Starkstromanlagen bis 1000 V" und die Allgemeinen Leitsätze für das sicherheitsgerechte Gestalten technischer Erzeugnisse als Sonderdrucke beigegeben. 150 Literaturstellen geben Basisliteratur und weiterführende Literatur an. Das Buch wird sicherlich wieder einen großen Nutzerkreis finden.

H. Pundt, Dresden ES 2856

Documentation

Budig, P.-K.; Müller, G.

Development Trends of the Drive Techniques

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 12. pp. 446–453, 15 Figs., 8 Refs.

It is made clear, that electric drives with regard to their position in the energy balance and to their influencing many fields of the reproduction process have an economical weight. Thereby it is also stated, that the future development is governed by a number of influencing sizes and that the increasing of the value in use of electric drives is a task of economical importance, that is their technical accomplishment and the reduction of the expenditure of producing them.

Holst, L.; Schmutzer, K.

Logic Simulation of PS 2000 Programmes

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 12, pp. 453–454, 6 Figs., 1 Ref.

The logic simulation of a PS 2000 programme, stored already in the AKT A 6454, is described. Thereby to the projectant of the PS 2000 control the following service is offered:

– selection of any programme region
– preadjustment of any number of adresses
– selection of any number of working-off and output of the results by display.

The logic test by means of CAD-techniques makes sure, that during operation no faults are occuring, if possible.

Kunze, W.; Kuß, H.; Binner, A.

CAD-Module Numerical Field Computation for Electrotechnical Products

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 12, pp. 455–460, 14 Figs., 15 Equations, 5 Refs.

Intersection sites of the numerical field computation are fundamental investigations, further development, and constructivetechnological designing electrotechnical products. Adaptation to different hardware and output capacity of the programme system XFEL 83/87 to computing two-dimensional electromagnetical fields are dealt with, whereby evaluating the vector potential distributions for forces, torques and harmonics of the air-gap field is discussed, especially.

Cigre – 32nd Session

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 12, pp. 461–472

SC 37: Planning and developing power systems
SC 38: Analysis and methods of the electric energy systems
SC 39: Operating and regulating electric power systems
Circular table talk: reliability of electric energy systems
SC 22: Openwire lines
SC 12: Transformers
SC 13: Switching devices
Discussion contributions in the SC 38:
Time-scale-modelling to computing effectively transient states,
computing transient states by using personal computer

15 Years Interelektro

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 12, pp. 474–477

Документация

Будиг, П.-К.; Мюллер, Г.

Тенденции развития приводной техники

ELEKTREI, Берлин 42 (1988) 12, стр. 446–453, 15 рис., 8 лит.

Отчетливо представляется народнохозяйственное значение электроприводов с точки зрения объема производства их, положения их в энергетическом балансе и влияния их на большое число областей процесса воспроизводства. При этом, в частности, отмечается, что будущее развитие определяется множеством влияющих величин и что повышение потребительной стоимости электроприводов, т.е. техническое усовершенствование их и снижение затрат на их изготовление, являются заданиями народнохозяйственного значения.

Хольст, Л.; Шмутцер, К.

Логическое моделирование программ PS-2000

ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 12, стр. 453–454, 6 рис., 1 лит.

Дается описание логического моделирования записанной заранее в АКТ А 6454 программы PS-2000. При этом, проектировщику управления PS-2000 предоставляется следующий сервис:

– выбор любой области программы
– предварительная установка любого числа адресов
– выбор любого числа прохождений и отображение результатов на экране.

Логический тест с помощью средств автоматизированного проектирования обеспечивает возможность ликвидации в максимальной мере ошибок до ввода в эксплуатацию.

Кунце, В.; Кусс, Х.; Биннер, А.

Модуль САП численного расчета поля для электротехнических изделий

ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 12, стр. 455–460, 14 рис., 15 уравн., 5 лит.

Стыками численного расчета поля являются фундаментальные исследования, дальнейшее развитие и конструктивно-технологическое оформление электротехнических изделий. Рассматриваются согласование с различными аппаратными средствами и производительность программной системы XFEL 83/87 для расчета 2-мерных электромагнитных полей, причем особое внимание уделяется анализу распределения векторного потенциала для напряженностей электрического поля, крутящих моментов и гармоник магнитного поля в воздушном зазоре.

Cigre – 32 сессия

ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 12, стр. 461–472

SC 37: Планирование и разработка энергосистем
SC 38: Анализ и методы электроэнергетических систем
SC 39: Эксплуатация и регулировка электроэнергетических систем
Разговор за круглым столом: Надежность электроэнергетических систем
SC 22: Воздушные линии
SC 12: Трансформаторы
SC 13: Коммутационные аппараты
Дискуссионные статьи в SC 38:
Time-scale-modelling для эффективного расчета переходных процессов
Расчет переходных процессов при помощи персонального компьютера

15 лет Интерэлектро

ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 12, стр. 474–477

Dokumentation

Budig, P.-K.; Müller, G.

Entwicklungstendenzen der Antriebstechnik

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 12, S. 446–453, 15 Bilder, 8 Lit.

Es wird deutlich gemacht, daß elektrische Antriebe vom Produktionsvolumen, von der Stellung im Energiehaushalt und von ihrer Einflußnahme auf viele Bereiche des Reproduktionsprozesses volkswirtschaftliches Gewicht haben. Dabei wird auch festgestellt, daß die zukünftige Entwicklung durch eine Vielzahl von Einflußgrößen beherrscht wird und daß die Erhöhung des Gebrauchswertes elektrischer Antriebe, d.h. ihre technische Vervollkommnung und die Senkung des Aufwands für ihre Herstellung, Aufgaben von volkswirtschaftlicher Bedeutung sind.

Holst, L.; Schmutzer, K.

Logiksimulation von PS-2000-Programmen

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 12, S. 453–454, 6 Bilder, 1 Lit.

Es wird die Logiksimulation eines bereits im AKT A 6454 gespeicherten PS-2000-Programms beschrieben. Dabei wird dem Projektanten der PS-2000-Steuerung folgender Service geboten:

- Wahl eines beliebigen Programmbereiches
- Voreinstellung einer beliebigen Anzahl von Adressen
- Wahl einer beliebigen Anzahl Abarbeitungen und Ergebnisanzeige auf Bildschirm.

Der Logiktest mit CAD-Technik sichert, daß bei der Inbetriebnahme möglichst keine Fehler mehr auftreten.

Kunze, W.; Kuß, H.; Binner, A.

CAD-Baustein numerischer Feldberechnung für elektrotechnische Erzeugnisse

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 12, S. 455–460, 14 Bilder, 15 Gln., 5 Lit.

Schnittstellen der numerischen Feldberechnung sind Grundlagenuntersuchungen, Weiterentwicklung und konstruktiv-technologische Gestaltung elektrotechnischer Erzeugnisse.
Anpassung an unterschiedliche Hardware und Leistungsumfang des Programmsystems XFEL 83/87 zur Berechnung 2-dimensionaler elektromagnetischer Felder werden behandelt, wobei besonders auf die Auswertung der Vektorpotentialverteilung für Kräfte, Drehmomente und Harmonische des Luftspaltfeldes eingegangen wird.

Cigre – 32. Session

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 12, S. 461–472

SC 37: Planung und Entwicklung von Energiesystemen
SC 38: Analyse und Verfahren der Elektroenergiesysteme
SC 39: Betrieb und Regelung von Elektroenergiesystemen
Rundtischgespräch: Zuverlässigkeit von Elektroenergiesystemen
SC 22: Freileitungen
SC 12: Transformatoren
SC 13: Schaltgeräte
Diskussionsbeiträge im SC 38:
Time-scale-modelling zur effektiven Berechnung von Ausgleichsvorgängen
Berechnung von Ausgleichsvorgängen mit Personalcomputer

---

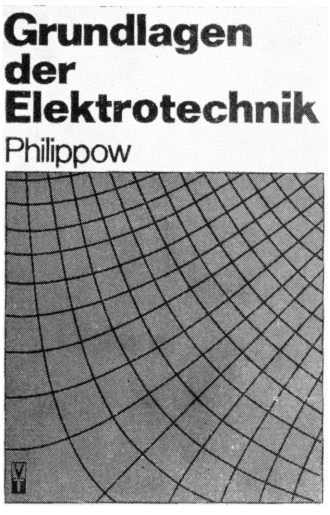
15 Jahre Interelektro

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 12, S. 474–477

ELEKTRIE

Herausgeber	Kammer der Technik, Fachverband Elektrotechnik
Verlag	VEB Verlag Technik Oranienburger Str. 13/14, Berlin, DDR, 1020 Telegrammadresse: Technikverlag Berlin Telefon: 2 87 00 Telex: 011 22 28 techn. dd
Verlagsdirektor	Dipl.-Ing. *Klaus Hieronimus*
Redaktion	Dr.-Ing. *Klaus Heide*, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 2 87 03 45) Ing. *Günther Barth*, Redakteur (Telefon: 2 87 03 43)
Lizenz-Nr.	1100 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik
Gesamtherstellung	III/18/328 Messedruck Leipzig, BT Borsdorf Borsdorf, 7122
Gestalter	*Eckardt Natorp* (Telefon: 2 87 02 87)
Anzeigenannahme	Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigenannahmestellen in der DDR, für Wirtschaftsanzeigen der VEB Verlag Technik, Oranienburger Str. 13/14, Berlin, 1020, PSF 201 Anzeigenpreisliste Nr. 7 Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, Hermann-Duncker-Str. 89, Berlin, DDR, 1157
Erfüllungsort und Gerichtsstand	Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abbildungen, auch das der Übersetzung in fremde Sprachen, vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig.
AN (EDV)	6730
Erscheinungsweise	monatlich 1 Heft
Heftpreis	2,50 M, Abonnementpreis vierteljährlich 7,50 M. Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebes BUCHEXPORT zu entnehmen.
Bezugsmöglichkeiten DDR	sämtliche Postämter
SVR Albanien	Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propaganditit te Librit Rruga Konference e Pezes, Tirana
VR Bulgarien	Direkzia R.E.P., 11a, Rue Paris, Sofia
VR China	China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P. O. Box 88 Beijing
ČSSR	PNS, – Ústřédni expedie a dovoz tisku Praha, Slezská 11, 12000 Praha 2 PNS Ustredna Expedicia a Dovoz Tlače Praha, Posta 022, 885 47 Bratislava
SFR Jugoslawien	Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarsko Produzéće MLADOST, Ilica 30, Zagreb
Koreanische DVR	CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation, Pyongyang
Republik Kuba	Empresa de Comercio, Exterior de Publicationes, O'Reilly No. 407, Ciudad Habana
VR Polen	C.K.P.i.W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa
SR Rumänien	D. E. P. Bucaresti Piata Scinteii, Bucaresti
UdSSR	Städtische Abteilungen von Sojuzpečat' oder Postämter und Postkontore
Ungarische VR	P. K. H. I., Külföldi Elöfizetési Osztály, P. O. Box 16, 1426 Budapest
SR Vietnam	XUNHASABA 32, Hai Ba Trung, Hà Nôi
BRD und Berlin (West)	ESKABE Kommissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141–167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstraße 111, Berlin (West) 30
Österreich	Helios Literatur-Vertriebs-GmbH & Co. KG, Industriestraße B 13, 2345 Brunn am Gebirge
Schweiz	Verlagsauslieferung Wissenschaft der Freihofer AG, Weinbergstr. 109, 8033 Zürich
Alle anderen Länder	örtlicher Fachbuchhandel; BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, Leipzig, DDR, 7010, Postfach 160; und Leipzig Book Service, Talstraße 29, Leipzig, DDR, 7010

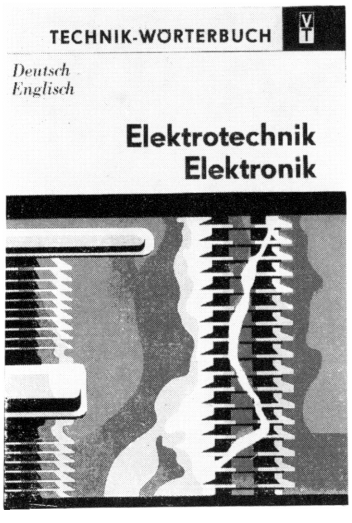
Nachauflagen · Auslieferung in diesen Tagen



Grundlagen der Elektrotechnik

Von Prof. em. Dr. sc. techn. Dr. techn. h. c. Eugen Philippow. 8., bearbeitete Auflage. 784 Seiten, 674 Bilder, 11 Tafeln, Leinen, DDR 51,– M, Ausland 64,– DM. Bestellangaben: 5538971/ Philippow, Elektrotechnik

Dieses Hochschullehrbuch führt in anschaulicher Weise in die Grundlagen und Berechnungsverfahren der theoretischen Elektrotechnik ein. Von dem abstrakten mathematischen Zusammenhang ausgehend, werden die Verfahren bis zur konkreten Berechnung geführt. Mit zahlreichen numerischen Verfahren der Feldberechnung und heute besonders aktuell gewordenen Verfahren (wie z. B. die Methode der finiten Elemente) geht es speziell auf die Bedürfnisse des Ingenieurs ein. Gerade dieser anwendungsbezogene Aspekt wurde in dieser 8. Auflage noch stärker ausgebaut. Weiterführende numerische Verfahren, topologische und graphentheoretische Methoden tragen den modernen Möglichkeiten der Computertechnik Rechnung.
Nach der Theorie der Felder — dem elektrostatischen, dem elektrischen Strömungsfeld, dem magnetischen Feld und dem elektromagnetischen Feld — wird der Mechanismus der Stromleitung behandelt. Die Wechselstromtechnik sowie die Berechnung beliebiger linearer Netzwerke und Ausgleichsvorgänge in linearen Netzwerken schließen sich an. Dabei werden auch die wichtigsten Grundlagen der Vierpoltheorie dargelegt.



TECHNIK-WÖRTERBUCH

Elektrotechnik · Elektronik

Deutsch-Englisch

Herausgegeben von Prof. Dr. sc. techn. Peter-Klaus Budig. Zusammengestellt von einem Autorenkollektiv. 3., unveränderte Auflage. 700 Seiten, Leinen, DDR 55,– M, Ausland 98,– DM. Bestellangaben: 5531139/Budig, Wb. Elektro D–E

Mit etwa 60000 Wortstellen aus allen Gebieten der Elektrotechnik einschließlich der Elektronik und Nachrichtentechnik.

Einführung in die Informationsverarbeitung

Von Prof. Dr. sc. techn. Gerhard Entreß und Dr.-Ing. Lieselotte Entreß. 2., bearbeitete Auflage. 312 Seiten, 341 Bilder, 108 Tafeln, Leinen, DDR 23,50 M, Ausland 36,– DM. Bestellangaben: 5539202/Entreß, Information

Behandelt werden vor allem Grundbegriffe und Wirkprinzipien der Informationsverarbeitung sowie Datenträger, Speicher, Prozessoren, Rechner, Datenübertragung, Rechnersysteme, Peripherie, Architekturen, Bauelemente und Betriebssicherheit. Zahlreiche Beispiele runden die Thematik ab. Übungsaufgaben und Lösungen vertiefen den Stoff.
In der 2. Auflage wurden Ergänzungen, Präzisierungen und Hinweise auf den neuesten Stand der Technik vorgenommen.

Technisches Darstellen

Anleitung zum Selbststudium

Von Prof. Dr. sc. techn. Benno Schmidt. 2., bearbeitete Auflage. Etwa 256 Seiten, 214 Bilder, 57 Tafeln, Broschur, DDR etwa 18,– M, Ausland etwa 24,– DM. Bestellangaben: 5538672/ Schmidt, Darstellen

Eine programmierte Einführung in das Technische Zeichnen zum Selbststudium für Studenten an technischen Hoch- und Fachschulen. Eine Vielzahl von Übungsaufgaben und Lösungen vermittelt grundlegende Fertigkeiten und gestattet dem Lernenden, seinen Wissensstand selbständig zu kontrollieren. Ein umfangreicher Anhang mit wichtigen Standardauszügen sichert die Verwendung des Buches als Nachschlagewerk in der täglichen Arbeit.

VEB
VERLAG TECHNIK
BERLIN

Im Fachbuchhandel erhältlich

ISSN 0013–5399
ELEKTRIE · Berlin 42 (1988) 12 · S. 441–480

0730 16 177 627 465
KUMB KERAM WERKE
8612 7001 0130 RF 1

Neuerscheinung · Soeben ausgeliefert

Von Dr. sc. techn. Christian Hoy, Prof. em. Dr.-Ing. Harald Koettnitz und
Prof. Dr. sc. techn. M. V. Kostenko
240 Seiten, 117 Bilder, 10 Tafeln, Leinen, DDR 33,– M, Ausland 56,– DM.
Bestellangaben: 5538891/Hcy, Wellenvorgänge

Hauptanliegen der Monographie ist die Bereitstellung wirklichkeitsnaher mathematischer Modelle des Elektroenergiesystems, besonders der Hochspannungsfreileitung, mit deren Hilfe die Untersuchung sowohl von stationären Vorgängen (verzweigte Trägerfrequenzstrecken) als auch von schnellverlaufenden Ausgleichsvorgängen (Schalt- und Blitzüberspannungen) unter Einsatz der modernen Rechentechnik möglich ist.
Im Teil 1 wird die Theorie der sinusförmigen Vorgänge auf den Grundlagen der Matrizenalgebra und der Modaltransformation im Frequenzbereich abgehandelt, im Teil 2 ist die Theorie der nichtstationären Vorgänge auf dem Mehrleitersystem der Hochspannungsfreileitung auf der Basis des Fourier-Umkehrintegrals für den Übergang vom Frequenzbereich in den Zeitbereich dargestellt. Es wird ein Algorithmus zur Berechnung schnellverlaufender Ausgleichsvorgänge im Elektroenergiesystem entwickelt. Er gestattet auch, die Korona- und die frequenzabhängige Dämpfung zu berücksichtigen. Im Teil 3 werden ausgewählte Beispiele der praktischen Anwendung vorgestellt: Betriebsdämpfung von Trägerfrequenzübertragung (TFH und TFE), wirksame Wellenwiderstände nach Abstandskurzschluß, Einschaltüberspannungen, Blitzüberspannungen.
Die Autoren waren bestrebt, die im Zeitbereich benötigten Modelle der Freileitung systematisch aus den Modellen im Frequenzbereich herzuleiten. Damit sind erstmalig in der Literatur die Modellierungsprobleme für stationäre und nichtstationäre (schnellverlaufende) Vorgänge zusammen unter einheitlichem systemtheoretischen Aspekt abgehandelt.
Typisch für die Darstellung des Stoffs ist die Verarbeitung von Erkenntnissen anderer Wissenschaftsgebiete, wie der Systemtheorie, der mathematischen Statistik, der numerischen Mathematik u.a. Dennoch strebten die Autoren danach, bei der Interpretation der Modelle und der Ergebnisse vom physikalischen Verständnis auszugehen und an vorhandenes Wissen sowie an die Denkgewohnheiten des Ingenieurs anzuknüpfen.

Im Fachbuchhandel erhältlich

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN